Der

ZEITSINN

nach Versuchen

von

Dr. **Karl Vierordt**
Professor der Physiologie in Tübingen.

Tübingen, 1868.
Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung.

Druck von H. Laupp in Tübingen.

R35987

Inhaltsverzeichniss.

Einleitung.

Seite

§. 1. Unsere Aufgaben 1
§. 2. Der physikalische Standpunkt 3
§. 3. Der physiologische Standpunkt 5
§. 4. Der psychologische Standpunkt 8
§. 5. Quantitative Natur der durch die Generalsinne vermittelten Empfindungen 11
§. 6. Die concrete Zeitempfindung und deren Messung . . 15
§. 7. Der empfundene Unterschied und dessen Maass . . . 22
§. 8. Versuchstechnik 30

Versuchsreihen.

A. Die Reproduction der empfundenen Zeit.

§. 9. Unmittelbare Wiederholung der gehörten Zeit durch eine Taktbewegung 34
§. 10. Wiederholung der gehörten Zeit durch eine nach einer Pause ausgeführte Taktbewegung 38
§. 11. Wiederholung periodischer Gehöreindrücke durch Taktbewegungen 44
§. 12. Wiederholung zeitlicher Tasteindrücke durch Taktbewegungen 47
§. 13. Unmittelbare Wiederholung einer spontanen Taktbewegung 49
§. 14. Wiederholung einer spontanen Taktbewegung nach einer Pause 53
§. 15. Vielfach wiederholte Taktbewegungen 57

B. Die Vergleichung von Zeitgrössen.

§. 16. Vergleichung periodischer Gehöreindrücke 62
§. 17. Die Vorstellung differenter Zeiten 75

C. Die Wahrnehmung von Zeitgrössen an sich.

Seite

§. 18. Qualitative Zeitempfindungen des Gehörsinnes . . . 77
§. 19. Schätzung grösserer Zeitwerthe 83

D. Die Geschwindigkeit.

§. 20. Wahrnehmung der Geschwindigkeit mittelst des Sehsinnes 86
§. 21. Der zeitliche Verlauf der Willensbewegung mit beabsichtigter gleichmässiger Geschwindigkeit 88
§. 22. Der zeitliche Verlauf der beabsichtigten beschleunigten Bewegung 104
§. 23. Der zeitliche Verlauf der beabsichtigten verzögerten Bewegung 110

Versuchsergebnisse.

§. 24. Der constante Fehler in den Zeitempfindungen . . 111
§. 25. Der constante Fehler in der Wahrnehmung der Geschwindigkeiten 114
§. 26. Täuschungen des Tastsinnes in der Auffassung der Geschwindigkeiten 118
§. 27. Scheinbare Verzerrung bewegter Gegenstände . . . 123
§. 28. Verkleinerung der Gegenstände in Folge rascher parallaktischer Verschiebung gegen den Hintergrund 134
§. 29. Zeitempfindungen qualitativer Natur 136
§. 30. Der mittlere reine Fehler der Zeitempfindungen . . 138
§. 31. Periodische Zeitempfindungen 139
§. 32. Der zeitliche Verlauf der Willensbewegung 143
§. 33. Die Unterscheidungsempfindlichkeit für Zeitgrössen . 148
§. 34. Empfindungsunterschied und empfundener Unterschied 154
§. 35. Der absichtlich hergestellte Unterschied 158
§. 36. Das Weber'sche Gesetz 160
§. 37. Zeitliche Veränderungen des Zeitsinnes 163
§. 38. Die Empfindung sehr kleiner Zeiten 166
§. 39. Die organischen Bedingungen der Zeitempfindungen . 171
§. 40. Discontinuität der Zeitempfindung 175
§. 41. Die Entstehung der Zeitempfindung 182

§. 1. Unsere Aufgaben.

Die Fortschritte der Neuzeit auf dem weiten Gebiete der Sinnesphysiologie lassen es schwer begreiflich finden, dass die Leistungen des Zeitsinnes bisher nur eine geringe und in der Regel bloss beiläufige Beachtung gefunden haben. Wieviel hier zu thun ist, kann Jeder ermessen, der den gegenwärtigen Standpunkt unseres Wissens über den Raumsinn mit dem vergleicht, was bis jetzt über Empfindung und Wahrnehmung von Zeitgrössen ermittelt worden ist; noch viel mehr aber derjenige, welcher auch nur einen einzigen Sinn in Bezug auf seine zeitlichen Perceptionen experimentell geprüft hat, und wenn die erfolgreichen Bemühungen E. H. Weber's und Fechner's zur Aufstellung fundamentaler Gesetze geführt haben, nach welchen allen Sinnesempfindungen wirkliche Grössenmaasse, sei es bewusst oder auch nur unbewusst zu Grunde liegen, so wird die Aufforderung um so dringender, die Normen zu erforschen, welche unsere Wahrnehmungen von Zeitgrössen beherrschen.

Unsere nächste Aufgabe wird also sein, die mannigfaltigen Leistungen des Zeitsinnes zu verfolgen, wie sie wenigstens in den wichtigsten Sinnesgebieten, sowie in der Ausführung von willkürlichen Bewegungen und endlich in der blossen Vorstellung von Zeitgrössen sich kundgeben.

Diese Leistungen sind aber nichts weniger als vollkommen; namentlich haften an denselben gewisse konstante Fehler, die zu verschiedenen Sinnestäuschungen führen, welche bisher ent-

weder nicht richtig erklärt werden konnten, oder überhaupt unbekannt geblieben sind. Ich hoffe, dass es mir gelungen ist, eben in diesen konstanten Fehlern das natürliche und ungezwungene Erklärungsprincip jener Sinnestäuschungen aufgefunden zu haben.

Abgesehen von den in neuester Zeit vielfach angestellten Untersuchungen über das Zeitintervall zwischen Nervenreizung und Empfindung, sind bis jetzt bloss drei Experimentalarbeiten, die sich direkt auf bestimmte Specialleistungen des Zeitsinns beziehen, veröffentlicht worden. Zwei rühren von meinen ehemaligen Zuhörern, Dr. Höring und Dr. Camerer her, die dritte von Prof. Mach in Wien.

Den umfassenden Aufgaben, welche die Physiologie des Zeitsinnes zu lösen hat, sind die Kräfte eines Einzelnen nicht gewachsen. Die Versuchstage dürfen, weil Ermüdung rasch eintritt, nicht zu viele Einzelversuche enthalten; auch ist die Ausmessung der auf dem Kymographion verzeichneten Zeitgrössen — wegen der unvermeidlichen Schwankungen der Umdrehungsgeschwindigkeit des Apparates an den verschiedenen Versuchstagen — eine sehr zeitraubende Arbeit. Wenn die erste Umschau auf dem bisher so vernachlässigten Gebiete viel mehr eine Prüfung des Zeitsinnes nach möglichst vielen Richtungen, als eine Concentration der Untersuchung auf nur wenige Fragen verlangt, so wird es dieser Schrift billiger Weise nicht zum Vorwurf gereichen, dass die einzelnen Versuchsreihen nur so viele Hunderte oder Tausende von Versuchen enthalten, als sie Tausende oder selbst Zehntausende aufweisen sollten, um die hier zu Grunde liegenden Gesezmässigkeiten mit aller Schärfe festzustellen. Ich bescheide mich desshalb, den Gang der Erscheinungen im Allgemeinen festgestellt zu haben; die strengere, mathematische Formulirung der Normen muss künftigen Specialforschungen überlassen bleiben.

§. 2. Der physicalische Standpunkt.

Die Leistungen unserer Sinneswerkzeuge, insofern dieselben auf Feinheit und Schärfe der sinnlichen Wahrnehmungen sich beziehen, bieten zunächst ein physicalisches Interesse und in der That war es auch ein solches, welches überhaupt anfieng, jene Fragen in den Kreis wissenschaftlicher Untersuchung zu ziehen. Bei der Prüfung der Zuverlässigkeit und praktischen Verwendbarkeit der physicalischen Maassinstrumente handelte es sich um die Fragen, was leisten hierbei die Sinne? wie unterstützen, wie hemmen sie die Ausführung der Beobachtungen? welches Minimum der Grösse oder Stärke des Reizes vermag der zu den Messungen in Anspruch genommene Sinn überhaupt noch zu erkennen? welches endlich ist die Unterscheidungsempfindlichkeit desselben, d. h. wo hört die Fähigkeit eines Sinnes auf, Unterschiede in den Grössenwerthen zweier Sinnesreize überhaupt noch wahrnehmen zu können?

Die Maassmethoden der Physiker können wir, was die Beihülfe der sinnlichen Empfindungen, vor allem aber das hier besonders in Betracht kommende Verhältniss derselben zu dem zu messenden Gegenstand selbst anlangt, in zwei Classen theilen.

In der ersten Classe ist man, unter Wegfall jedes objektiven direkten Maassstabes, ausschliesslich angewiesen auf den Empfindungsinhalt selbst. Viele photometrische Methoden z. B. gehören hieher, bei welchen man bekanntlich die Aufgabe hat, zu bestimmen, wann zwei bewegliche, vom Beobachter verschieden weit abstehende Lichtquellen eben aufhören, einen noch wahrnehmbaren Helligkeitsunterschied zu bieten. Bei den Messungen dieser Classe handelt es sich allemal um specifische Empfindungen desjenigen Sinnes, für welchen das physicalische Agens, das gemessen werden soll, der homologe (adaequate) Sinnesreiz selbst ist.

Zur Wahrnehmung und Vergleichung der Höhen, Timbren, Stärken der Töne wird also das Gehör benützt, Farben und Lichtstärken werden durch den Sehsinn gemessen und geschätzt, dessen specifische subjective Energie lediglich in Farben- und Lichtempfindungen besteht. Diese Messungsmethoden können als subjective, physiologische, unmittelbare, natürliche bezeichnet werden.

Die Methoden der zweiten Classe, welche in der Physik eine viel ausgedehntere Verwendung finden, sind objektiver Natur, d. h. man legt an den zu messenden Gegenstand einen Maassstab an, der nichts gemein hat mit den Empfindungen, welche das zu messende Agens in uns erregt und der sich auf Nebenwirkungen bezieht, welche eben dieses Agens hervorbringt. Der Wärmegrad wird nicht mittelst des Temperatursinnes, sondern durch den Sehsinn, d. h. die Wahrnehmung der Höhe einer Quecksilbersäule gemessen u. s. w. Characteristisch für die Mehrzahl dieser »objectiven« Messungsmethoden, die wir von unserem Standpunkt aus als indirecte, künstliche bezeichnen können, ist die Genauigkeit gegenüber denjenigen der ersten Klasse; eine Genauigkeit, die in der Regel die entsprechenden Leistungen desjenigen Sinnes, der das homologe, directe Maassinstrument des betreffenden Agens darstellt, weit hinter sich zurücklässt. Man wendet also diese Methoden immer dann an, wenn es sich um scharfe Bestimmungen, namentlich der absoluten Werthe, handelt, wogegen man die unmittelbaren Methoden benützt 1) zur bloss beiläufigen Schätzung der absoluten Grössenwerthe und 2) zur Ermittelung von Unterschieden, resp. der Gleichheit zweier Sinnesreize, eine Aufgabe, für welche die Sinne verhältnissmässig am meisten befähigt sind, so dass eben diese Fähigkeit zu den wissenschaftlichen Maassbestimmungen der ersten Classe in Anspruch genommen wird. Nur zur Wahrnehmung der Farben.

ganz vorzugsweis aber der Töne, sind die adaequaten Sinnesnerven verhältnissmässig besser disponirt, sodass die betreffenden Empfindungen um so lieber als physicalische Erkennungs- und Maassmittel von Licht- und Tonschwingungen in den meisten Fällen benützt werden, als sie sich ohne weitere Umstände und Zeitverlust gewinnen lassen.

§. 3. Der physiologische Standpunkt.

Die Physiker beschränkten, unserem Gegenstand gegenüber, ihre Bemühungen ausschliesslich auf Feststellung gewisser beim physicalischen Experiment in Frage kommenden Leistungen des Gehör- und Gesichtssinnes, indem sie in der That keine Veranlassung hatten, die messenden Leistungen der übrigen Sinne zu untersuchen, die in der Regel durch viel exactere physikalische Messungsinstrumente ersetzt werden können. Warum sollten sie auch Versuche anstellen z. B. über die Fähigkeit des Muskelsinnes, Gewichtsunterschiede wahrnehmen zu können, wenn die Waage fast ebenso schnell und viel sicherer zum Ziel führt? Gleichwohl treten uns auch hier Begabungen gewisser Sinne entgegen, die, wie mir scheint, auch zu nichtphysiologischen Zwecken recht wohl praktisch und wissenschaftlich verwendet werden könnten. So ist unser Vermögen, Geschmacksstoffe bis zu einer gewissen Verdünnung herab noch wahrnehmen zu können, praktisch bisher unbenützt geblieben; es liegt aber nahe, durch methodische Verdünnung der Lösung eines Geschmackskörpers den Punkt, wo seine Schmeckbarkeit eben aufhört, leicht und schnell zu bestimmen, also, unter Berücksichtigung des gemachten Wasserzusatzes, die anfängliche Concentration der Lösung. Ebensowenig hat man das Unterscheidungsvermögen für verschiedene Concentrationen, also auch unsere Fähigkeit, gleiche oder annähernd gleiche Concentra-

tionen von Lösungen desselben Geschmackskörpers als gleich erkennen zu können, bisher praktisch verwendet; Lösungen schmeckbarer Körper, die noch bei starken Verdünnungsgraden den Geschmackssinn bedeutend anregen, könnten auf ihren Gehalt schnell und zuverlässig geprüft werden mittelst zum Voraus bereiteter und zur Vergleichung dienender Normallösungen. In Fällen der Art, wo es sich um sehr kleine Mengen der gelösten Substanz handelt, sind die Leistungen des Geschmackssinnes sogar bevorzugt vor denen der Wage.

Gegenüber diesen physikalischen und praktischen Standpunkten verlangte das physiologische Interesse vor Allem die Ausdehnung dieser Untersuchungen auf das gesammte Sinnesgebiet, also die Feststellung der Unterscheidungs- und womöglich auch absoluten Empfindlichkeit für Druckwirkungen, Wärmegrade, für Geschmacks- und Geruchskörper; umfassende Aufgaben, denen sich noch anreiht die Bestimmung des Vermögens gewisser oder selbst aller Sinne, concrete Raum- und Zeitgrössen auffassen und wiederum von einander unterscheiden zu können.

Die Physiologie löste übrigens nicht bloss diese speciellen Aufgaben auf dem Versuchswege, theilweise wenigstens, sondern entrückte die ganze Lehre dem Gebiete der blossen Casuistik, indem sie über die Feinheit und Schärfe der Empfindungen, mit einem Wort über die Empfindlichkeit der Sinne, allgemeine Normen aus dem gewonnenen Erfahrungsmaterial ableitete. Was die Empfindlichkeit für kleinste Reizgrössen betrifft, die schon innerhalb der Gesundheit sehr merklich schwankt, in Krankheiten aber die grössten Abweichungen bietet, z. B. von der gesteigerten Gehörempfindlichkeit einer Hysterischen bis herab zu den stärkeren Graden der Schwerhörigkeit, so ist dieselbe (der hinlänglich gerechtfertigten gangbaren Betrachtungsweise gemäss) umgekehrt proportional den

Reizgrössen, welche die nämliche Empfindungsgrösse, z. B. einen eben noch merklichen minimalen Licht- oder Schalleindruck auslösen. Dieselbe Betrachtung wiederholt sich für die Unterscheidungsempfindlichkeit, welche ebenfalls unter physiologischen und pathologischen Bedingungen innerhalb weitester Grenzen schwankt, sodass bei verschiedenen Menschen, oder, unter veränderten Nebenbedingungen, bei demselben Menschen, verschieden grosse Abänderungen der objectiven Reizgrössen verlangt werden, um gleich grosse, also auch eben noch merkbare Unterschiede zwischen zwei Empfindungen auszulösen. Systematische Versuche an Kranken dürften auf diesem, von den Pathologen bisher nur selten betretenen Gebiete eine lohnende Ausbeute versprechen, zumal wenn man sich nicht, wie bisher, ausschliesslich auf die direkten, idiopathischen Störungen (Halblähmungen, Hyperästhesieen u. s. w.) der Sinne beschränkt, sondern die Untersuchung ausdehnt auf die mit pathologischen Zuständen der Gesammtconstitution verbundenen rein functionellen Abweichungen der Sinnesempfindlichkeit.

Ueber die Unterscheidungsempfindlichkeit stellte E. H. Weber in seinem Artikel: Tastsinn und Gemeingefühl in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, gestützt auf fremde, namentlich aber eigene, speciell zu diesem Zweck angestellte Versuchsreihen die Norm auf: dass mit wachsender Grösse des Reizes und der Empfindung immer grössere Reizzuwüchse nöthig sind, um einen, eben noch merklichen Empfindungsunterschied zweier Reizgrössen, oder, allgemeiner ausgedrückt, denselben Empfindungszuwuchs auszulösen. Gleiche verhältnissmässige Reizzuwüchse entsprechen gleichen Empfindungszuwüchsen. Diese Norm, welche nicht ohne Weiteres aus allgemeinen Qualitäten der Empfindungen gefolgert, sondern nur auf empirischem Wege gefunden werden konnte, gilt annähernd für alle specifischen Sinnesempfindungen,

wenigstens innerhalb einer gewissen, bei manchen Sinnen allerdings engen Breite der Intensitätswerthe der Sinnesreize.

§. 4. Der psychologische Standpunkt.

Die physiologischen Erfahrungen über die Empfindlichkeit auf dem gesammten Sinnesgebiet geben, selbst in der annähernd gültigen allgemeinen Form, die sie im Weber'schen Gesetz angenommen haben, zunächst bloss Aufschluss über die objective Leistungsfähigkeit, die Virtuosität und praktische Brauchbarkeit der Einzelsinne; keineswegs aber ein Maass der Empfindungen selber.

Unsere Specialsinne sind, wenn es sich um die Auffassung der absoluten Empfindungsstärke handelt, sehr beschränkt; einem Schall, einer Geschmacksempfindung u. s. w. schreiben wir zwar eine gewisse Stärke zu; wir ordnen selbst den Intensitätsgrad der gehabten Empfindung ein in eine bestimmte Empfindungscategorie, nennen die Empfindung eben noch merklich — sehr schwach — schwach u. s. w. bis hinauf zu den höchsten Graden der Stärke; immerhin sind es aber — gegenüber der ungeheuren Breite der objectiven Reizscala — nur wenige und vage Categorien der absoluten Empfindungsstärke, welche uns hier zu Gebot stehen. Dasselbe ist der Fall bei der Vergleichung der Stärke zweier, qualitativ gleichen Empfindungen; wir nennen diese Empfindung etwas stärker — stärker — viel stärker u. s. w. als jene und drücken damit nur sehr beiläufig das Grössenverhältniss beider Empfindungen aus. Es knüpfen sich also keine irgendwie genaueren Grössenmaasse weder an unsere absoluten Empfindungen, noch an die wahrgenommenen Empfindungsunterschiede. Von der bekannten, experimentell bis jetzt leider nicht näher gewürdigten, Erfahrung, dass wir die Empfindungen, die wir durch Gewichte, Temperaturen u. s. w.

haben, in Folge langer und anhaltender Uebung in objektivem Grössenmaasse annähernd richtig auszudrücken im Stande sind, können wir vorerst absehen.

Wenn wir einen Lichteindruck stark oder schwach, einen Schall kaum wahrnehmbar, oder heftig u. s. w. nennen, so anerkennen wir damit, dass auch die specifischen Empfindungen ihr Intensitätsmaass haben, obschon uns die Maassgrössen selbst nicht deutlich in's Bewusstsein fallen. Es ist bekanntlich Fechner's Verdienst, zuerst ein Maassprincip für die Empfindungsgrösse aufgestellt und damit die naturwissenschaftliche Methode auf ein Gebiet der Psychologie übertragen zu haben, welches, wie die Seelenlehre überhaupt, bisher keinen streng wissenschaftlichen Anknüpfungspunkt mit der ihr doch so nahe verwandten Sinnesphysiologie hatte finden können. Fechner verlangt von einem Grössenmaass der Empfindung geradezu dasselbe, was überhaupt jede Messung zu leisten hat, nämlich 1) die Angabe, wieviel mal die eine Empfindung stärker ist als die andere und 2) wie viele Empfindungseinheiten in einer concreten Empfindungsstärke enthalten sind, also nichts anderes als ein rationelles absolutes Maass der Empfindungsgrössen, welches diese Grössen eben durch Einheiten ihrer Art misst. Ein Sinnesreiz wird uns erst merklich bei einer gewissen Stärke, dem »Schwellenwerth des Reizes«; unterhalb dieser Minimalgrösse wird der Reiz nicht mehr empfunden. Dem Schwellenwerth, dessen Durchschnittsgrösse für viele Reize experimentell festgestellt ist, entspricht also die schwächste, gerade noch wahrnehmbare Empfindung. Dessgleichen müssen zwei Reize einen gewissen minimalen Grössenunterschied zeigen, wenn sie eben noch unterschieden und nicht einander gleichgesetzt werden sollen. Dieser »Schwellenwerth des Reizunterschiedes« ist für viele Reize ebenfalls erfahrungsmässig in Durchschnittsmaassen festgestellt. Unter Zugrundlegung des

Weber'schen Gesetzes, dass in der ganzen objectiven Reizscala die Empfindungsunterschiede gleich bleiben, wenn das Verhältniss der Reizstärken gleich bleibt, geht man aus von dem Schwellenwerth des Reizes und der entsprechenden, d. h. eben noch merklichen schwächsten Empfindung. Lässt man nun die Reizgrösse successiv wachsen je um den »Schwellenwerth des Reizunterschiedes«, so erhält man ebensoviele merkbare Zuwüchse der Empfindung; die Summa der Empfindungszuwüchse von Null an bis zu dem Werth, welcher dem gegebenen Reiz entspricht, ist somit das Grössenmaass der Empfindung. Eine derartige Summirung würde übrigens, selbst wenn wir mit endlichen Grössen der Reiz- und Empfindungszuwüchse rechnen, eine mühsame Operation sein. Die Zuwüchse müssen aber strenge genommen unendlich klein gesetzt werden. Fechner hat nun eine einfache mathematische Funktion aufgestellt über den genauen Zusammenhang zwischen Reizgrösse und Empfindungsgrösse, nach welcher die Empfindungen nicht wachsen wie die absoluten Grössen der Reize, sondern wie die Logarithmen der Reize. Wenn also die Reizgrössen 10 und 100 auf 11 und 110 steigen, so steigen die Empfindungsstärken von 1,00 resp. 2,00 auf 1,04 resp. 2,04, also um gleichviel. Dieses wenigstens auf manchen Sinnesgebieten für die Empfindungsstärke innerhalb gewisser weiteren oder engeren Grenzen geltende Gesetz bewährt sich in evidentester Weise auch für die Unterscheidung von Tonhöhen. Bei diesen handelt es sich in den einzelnen Octaven bekanntlich nicht um die absoluten Unterschiede der Schwingungszahlen; gleiche Verhältnisse je zweier Schwingungszahlen also z. B. das Octavverhältniss bringen in der That den gleichen Empfindungsunterschied hervor.

Die Empfindungszuwüchse im Fechner'schen Sinne sind offenbar wohl definirbare psychische Elemente, deren Gültigkeit keineswegs von der Frage abhängt, ob das Weber'sche Gesez

im ganzen Gebiet der objectiven Reizscala statthaft ist oder nicht. Wenn die Empfindung, wie es in der That der Fall ist, an den Grenzen der objectiven Reizscala nach einem anderen Geseze fortschreitet, wenn das Gesez sich sogar mehrfach abändert zwischen dem Reizminimum und Reizmaximum, so bleiben immer noch die für die Empfindung merklichen Zuwüchse übrig, deren Summirung auch jetzt nicht unausführbar wird.

Das bisher über das Empfindungsmaass Gesagte bezieht sich auf die specifischen Empfindungen, wir betrachten nunmehr die durch die Generalsinne vermittelten Empfindungen und Wahrnehmungen, die, vermöge des ihnen anhaftenden quantitativen Characters, der Messung viel zugänglicher sind.

§. 5. Quantitative Natur der durch die Generalsinne vermittelten Empfindungen.

Die Empfindungen, welche wir nicht bloss durch zahllose Einflüsse der Aussenwelt, sondern auch mittelst vielfacher Zustände unserer eigenen Leiblichkeit erhalten, sind unserer unmittelbaren Beobachtung auf's Beste zugänglich und wir benüzen dieselben als brauchbare, unter gleichen Bedingungen in gleicher Weise sich wiederholende Merkzeichen für das, was um uns und zum Theil auch in uns vorgeht; wir können sie ferner mit einer für den praktischen Gebrauch der Sinne hinreichenden Schärfe vergleichen; wir vermögen, gehabte Empfindungen sammt den daran sich knüpfenden Wahrnehmungen unserem Gedächtniss einzuprägen, um sie mit späteren ähnlichen Ereignissen zu vergleichen; ja manche Empfindungen können wir sogar mit einer gewissen Deutlichkeit in der Vorstellung willkürlich reproduciren. Was aber die Empfindungen *an sich* sind, welche psychischen Vorgänge denselben zu Grunde liegen, das ist, trotz dieses vollkommensten Gebrauches, denn wir von den Sinnen

machen, so vollständig verborgen, wie uns überhaupt die wesentlichen Eigenschaften der Seele, die wir ebenfalls nur in ihren äusseren Leistungen kennen, verborgen sind.

Auf den ersten Blick mag es wohl den Anschein haben, dass die Leistungen des Raum- und Zeitsinnes viel brauchbarere Ausgangspunkte bieten, um in das psychologische Gebiet eindringen zu können, als die Specialsinne. Die Empfindungen, welche Farben, schallende Körper u. s. w. in uns erregen, sind mit den Bewegungen, welche jene Sinnesreize an und für sich charakterisiren, d. h. mit der objektiven Natur der Reize, in keiner Weise vergleichbar; ja sogar die verschiedenen Empfindungen desselben specifischen Sinnes, das Bittere und Süsse, die Wärme und Kälte, die Timbres der Töne u. s. w. sind ihrem Inhalt nach ebensowenig unter sich vergleichbar.

Wesentlich anders verhalten sich die Perceptionen der Generalsinne. An die wachsende Grösse des concreten Räumlichen und Zeitlichen knüpft sich die Vorstellung eines grösseren objektiven Raumes, einer längeren objektiven Zeit; der Reiz ist für unsere Empfindung einfach gewachsen, ohne dass der sonstige Empfindungsinhalt ein anderer geworden ist oder doch zu werden braucht. Unsere räumlichen und zeitlichen Empfindungen haben keineswegs jenes vollständig subjective Gepräge wie die Empfindungen der Specialsinne. Gegenständliches und Empfundenes, resp. Wahrgenommenes sind auf dem Gebiete der Generalsinne wirklich und unmittelbar mit einander vergleichbar, weil sich beide, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, vollkommen oder doch annähernd decken und übereinander legen lassen. Aber auch unsere Zeit- und Raumvorstellungen, weit entfernt blosse »subjective Categorien unseres Bewusstseins« darzustellen, wie gewisse philosophische Schulen annahmen, stehen mit der Realität der Dinge keineswegs in unauflöslichem Widerspruch; für die moderne Naturwissen-

schaft ist die — vom Standpunkt unserer unmittelbaren sinnlichen Erfahrung unbegreifliche — Unendlichkeit des Raumes und der Zeit die nothwendige Consequenz jenes obersten Gesezes, welches den Wechselwirkungen der Naturkräfte überhaupt, also auch jeder räumlich und zeitlich endlichen Naturerscheinung zu Grunde liegt. Unsere Zeit- und Raum-Empfindungen und Begriffe haben desshalb Realität nicht etwa in bloss empirischem Sinne, sodass selbst das Subjective, das bei unseren diessfallsigen Empfindungen ebenfalls mitunterläuft, die objective Wesenheit des räumlichen und zeitlichen Vorstellungsinhaltes keineswegs aufhebt.

Diese grossen Vortheile, welche die Zeit- und Raumempfindungen und Wahrnehmungen uns bieten, erleichtern aber nur das erste Eindringen in unseren Gegenstand. Die Operationen, durch welche wir allmälig zum Begriff des Zeitlichen und Räumlichen gelangen, und welche uns befähigen, ja nöthigen, an alle unsere sinnlichen Empfindungen den Maassstab des Raumes und der Zeit anzulegen, sie sind uns vollständig verborgen. Zwar wissen wir, dass die allgemeinen Bedeckungen und die Netzhaut des Auges mit bestimmten Veranstaltungen versehen sind zur richtigen räumlichen Anbringungsweise der Sinnesreize, wir wissen, dass in allen empfindenden Nerven Einrichtungen getroffen sind, um das, was zeitlich nach einander vor sich geht, in der entsprechenden zeitlichen Aufeinanderfolge zum Bewusstsein zu bringen, aber alle diese Veranstaltungen — deren Unentbehrlichkeit in die Augen springt — lassen immer noch unerklärt, durch welches Verfahren die zum Gehirn fortgepflanzten Erregungen räumlich und zeitlich neben und nach einander in's Bewusstsein gelangen, und die besonderen Formen der räumlichen Anordnung, welche man für die Endigungen der zu leitenden Nervenfasern in den Nervencentren postulirt hat, alle Qualitäten, mit denen man die Seele aus-

statten wollte, um jene fundamentalen Vorgänge zu erklären, sie haben — so scharfsinnig erdacht sie auch sein mögen — gleichwohl nicht dazu verhelfen können, den wahren Hergang des psychischen Geschehens verständlich zu machen.

Die specifischen Empfindungen verschaffen uns ausser dem qualitativen Empfindungsinhalt noch die Vorstellung verschiedener Intensitätsgrade; wir haben starke und schwache Lichtempfindungen, bekommen von derselben Tonquelle, je nach dem Umfang ihrer Vibrationen, bald schwache, bald starke Höreindrücke u. s. w. Soweit aber auch die Grenzen sein mögen, innerhalb welcher die Stärke dieser intensiven Empfindungen sich bewegt, so ist doch der Empfindende (in der Regel) nicht im Stande, an dieselben einen genaueren Maassstab anzulegen. Dieses Licht kommt uns bloss viel stärker, nicht aber 3mal stärker vor als jenes; diese Zuckerlösung viel süsser als jene, aber vergleichbare Maasse der Süssigkeitsgrade sind mit diesen Geschmacksempfindungen nicht verbunden. Gegentheilige Angaben beruhen entschieden auf einer Selbsttäuschung. Die Specialsinne haben also, wie E. H. Weber richtig hervorhebt, im Allgemeinen keine Multipla der Empfindungen, im wesentlichen Gegensatz zu unseren Raum- und Zeitwahrnehmungen. Diese Linie kommt uns nicht bloss länger, sondern doppelt so lang vor als jene; dieser Höreindruck macht uns blos $^1/_3$ des zeitlichen Eindrucks wie jener u. s. w. Die Generalsinne sind also mathematische Sinne, sie beziehen sich auf die Wahrnehmung der Formen, wie die Sinnesreize an uns angebracht werden; die räumlichen und zeitlichen Grössenwerthe der Sinnesreize fallen so zu sagen unmittelbar in unser Bewusstsein, und der Empfindungsinhalt nimmt zu mit zunehmender Grösse der zeitlichen und räumlichen Einwirkung des Reizes, alles unschätzbare Vortheile, die uns erlauben, die gehabten Empfindungen der Generalsinne alsbald — und zwar mit an-

nähernder Richtigkeit — zu reproduciren und mit direkten Maassen zu messen.

§. 6. Die concrete Zeitempfindung und deren Messung.

Dem Gesagten zufolge verbindet mit einer gehabten specifischen Empfindung der Empfindende keinen bestimmten, unmittelbar in das Bewusstsein fallenden Intensitätswerth; auch können solche Empfindungen in der Vorstellung nicht reproducirt werden mit Intensitätsgraden, die nur einigermassen proportional wären den Intensitätsgraden der entsprechenden objectiven Empfindungen, geschweige, dass wir Mittel besitzen, um den Empfindungszustand, als volle, mit der gehabten objectiven Empfindung vergleichbare Grösse willkürlich zu wiederholen.

Anders verhalten sich, wie gesagt, die Empfindungen der extensiven, der Generalsinne, welche ihr Grössenmaass wirklich in sich tragen und dasselbe unmittelbar in unser Bewusstsein bringen. Wir sehen eine Linie und sind im Stand, unmittelbar nachher eine Linie von gleicher Länge auf ein Papier zu verzeichnen, oder die der gesehenen Linie entsprechende Distanz an einem Maassstab anzugeben; ein irgend wie gestalteter fremder Körper berührt unsere Haut, wir vermögen, die Contouren des Gegenstandes auf der berührten Hautstelle, oder auf jedweder anderen Fläche nachzuzeichnen; haben wir zwei Schallempfindungen, die schnell oder langsam auf einander folgen, so können wir das Zeitintervall zwischen beiden Höreindrücken wiederholen und auf einen rotirenden Cylinder behufs genauer Zeitmessung markiren. Indem wir eine gesehene oder getastete Dimension, eine mittelst irgend welchen Sinnes empfundene Zeit reproduciren, sind wir nicht bloss vollkommen überzeugt von der Gleichheit des von uns Reproducirten mit

den räumlichen und zeitlichen Werthen der äusseren Reize, von der Gleichheit also der empfundenen und der objectiven Zeit, sondern wir vollführen auch diese Reproduction mit einer, für die praktische Brauchbarkeit der betreffenden Sinne zureichenden Genauigkeit. Die auf diese Weise reproducirte Zeit entspricht also der Vorstellung, die die Zeitdauer eines Sinneseindruckes in uns erregt, sie darf als Ausdruck, als Maass gelten für den entsprechenden zeitlichen Empfindungsinhalt. Der Einwurf, ein derartiges Maass sei doch nur eine conventionelle, eine höchstens unter gewissen Voraussetzungen, deren Zuständigkeit erst noch zu beweisen sei, zulässige Grösse, kann den Werth einer nach der genannten Methode durchgeführten Versuchsreihe in keiner Weise schmälern. Es handelt sich hier um jedenfalls genau definirbare und definirte Beziehungen zwischen der Grösse des objectiven Reizes und der Grösse, der ausgelösten Empfindung, Beziehungen, die, weil sie die Anlegung eines Maassstabes gestatten, unter allen Umständen beachtenswerth sein müssen. Ist unser Maassstab auch nicht der richtigste — mit welchem Maasse die zeitmessende Seele misst, wissen wir nicht! — immerhin ist es ein Maassstab, für den nach Bedürfniss ein anderer, besserer substituirt werden kann, ohne dass aber dadurch die mit dem alten Maass vollführten Bestimmungen unbrauchbar würden.

Wir empfinden eine und dieselbe objective Zeit unter verschiedenen Umständen nicht als gleich gross; wir reproduciren sie desshalb heute etwas kürzer, morgen etwas länger. Die absolute Empfindlichkeit für eine gegebene objective Zeitgrösse ist demnach um so grösser, je grösser diese Zeit von uns aufgefasst d. h. mit den bekannten Hülfsmitteln reproducirt wird; sie ist doppelt so gross, wenn wir dieselbe objective Zeit in einer Versuchsreihe noch einmal so lang reproduciren als in einer anderen. Aehnliche Verhältnisse kehren

wieder, wenn wir an verschiedenen Personen untersuchen, wie sie eine bestimmte Zeitgrösse auffassen.

Mit dem Wachsthum eines räumlichen Reizes, sowie mit zunehmender zeitlicher Einwirkung des Reizes wachst auch die Grösse der in uns angeregten extensiven Empfindung. Einen einfachen Ausdruck für die absolute Grösse der gehabten Empfindung giebt die alsbald von uns vollführte Wiederholung eben dieser Empfindung, indem wir die räumlichen oder zeitlichen Grenzen derselben markiren. Die auf diese Weise gemachten Markirungen von Zeitgrössen müssen als genaue Ausdrücke der gehabten Empfindungen gelten, weil wir zwischen beiden auch nicht den geringsten Unterschied wahrnehmen können; vergleichen wir aber die Grösse der Empfindungen mit der Grösse der Reize, so decken sich beide in der Regel nicht; die Empfindung ist grösser, oder kleiner, verhältnissmässig selten ist sie gleichgross wie der objective Raum- oder Zeitwerth. Es besteht, wie wir später sehen werden, als ausnahmsloses Gesetz, dass kleine Zeiten von uns grösser empfunden, also auch auf das Kymographion markirt werden, als sie wirklich sind; wogegen grössere Zeiten in unserer Empfindung mit einer mit zunehmendem Wachsthum der objectiven Zeit zunehmenden Abkürzung verbunden sind. Zwischen beiden Auffassungsweisen liegt natürlich ein Uebergangspunkt; auf diesem Punkte der Indifferenz empfinden wir die Zeit gerade so gross, als sie wirklich ist. Den Quotienten der objectiven Zeit in die empfundene Zeit wollen wir als Maass der relativen Empfindlichkeit bezeichnen und im Folgenden für die Grössen der wirklichen und der empfundenen Zeit beispielsweis einfache Werthe willkürlich annehmen.

Objective Zeit.	Empfundene Zeit.
1	3
2	4

Objective Zeit.	Empfundene Zeit.
3	$4^1/_2$
4	5
5	$5^1/_2$
6	6
7	$6^3/_4$

u. s. w.

Demnach ist die relative Empfindlichkeit für die Zeiteinheit = 3, für 6 Zeiteinheiten = 1, für 7 Einheiten 0,88 u. s. w. Dass ähnliche Verhältnisse bei unseren Raumempfindungen wiederkehren, mag hier bloss angedeutet sein. Dabei ist es uns vorläufig gleichgültig, welche Ursachen, mögen sie in den Sinnesapparaten selbst liegen, oder in den begleitenden psychischen Processen, uns zur Vergrösserung oder Verkleinerung unserer zeitlichen Auffassungen veranlassen. —

Wir haben noch ein zweites Hülfsmittel, um die Grösse einer gehabten Empfindung auszudrücken, und zwar in einer conventionellen absoluten Maassgrösse; wir schätzen mit dem Augenmaass eine gegebene Distanz in Fussen und Zollen ab, wir geben einen zeitlichen Eindruck in Secunden oder Minuten mehr oder weniger genau an. Ein im Pulsfühlen geübter Arzt z. B. kann es soweit bringen, dass er die Pulsfrequenz in jedem Einzelfall, ohne Zuhülfenahme einer Uhr mit Genauigkeit bestimmt. Die Intensitäten gewisser specifischen Empfindungen lassen sich nach vorausgegangener langer Uebung ebenfalls in conventionellen Maassen ausdrücken; Wer viel mit Gewichten zu thun hat, bestimmt ein gegebenes Gewicht mit leidlicher Genauigkeit; der Badewärter gibt die Temperaturgrade bis zum halben Grad richtig an; bemerkenswerthe Ausnahmen von dem sonst allgemein gültigen Gesez, dass unsere specifischen Empfindungen mit keinen bestimmten Intensitätswerthen verbunden sind. Eine in dieser Richtung methodisch

durchgeführte Experimentenreihe, auch nur auf einem einzigen Sinnesgebiet, geschweige denn in Bezug auf den Zeitsinn, liegt meines Wissens bis jetzt nicht vor.

Ebensowenig ist ein drittes Verfahren, wie wir Grössenwerthe alltäglich mittelst unserer Sinne abzuschätzen pflegen, bis jetzt wissenschaftlich näher geprüft worden. Wir drücken eine gehabte Empfindungsgrösse nicht etwa durch einen conventionellen Maassstab, also in Zahlwerthen aus, sondern tragen sie ein in irgend eine jener allgemeinen Categorien, mit welchen wir die Grösse, resp. Stärke der extensiven und der intensiven Empfindungen beiläufig zu bezeichnen pflegen. Zeitgrössen bezeichnen wir der Reihe nach als: augenblicklich, — sehr kurz — kurz u. s. w. bis hinauf in die extremen Grade der Langsamkeit. Raumgrössen als kaum sichtbar — sehr klein — klein — u. s. w. Aehnliche Bezeichnungen wendet die Musik an für die Tempi's und für die Tonstärken; aber auch alle übrigen specifischen Empfindungen — selbst die Gemeingefühle nicht ganz ausgenommen — werden von uns nach ihrer Stärke, je nach der Concentration der Geschmack- und Geruchstoffe, dem Helligkeitsgrad u. s. w. mit Worten annähernd geschätzt. Die Zahl der bezüglichen Categorien ist allerdings keine grosse, welche unsere sinnliche Auffassung und demgemäss auch die Sprache unterscheidet; wenn wir z. B. mit einem Metronom experimentiren, das zwischen 40 bis etwas über 200 Schläge in der Minute machen kann, stehen uns kaum mehr als 7 bis 9 Geschwindigkeitsbezeichnungen für die Schlagfolge zu Gebot; wir unterscheiden: sehr langsam — langsam — mässig langsam — adaequat (ich möchte fast sagen: angenehm) — mässig schnell — schnell — sehr schnell — vielleicht auch an der oberen und unteren Grenze noch ein »überaus schnell« und ein »überaus langsam«. So schwankend und scheinbar unzuverlässig das einzelne Urtheil auch sein mag

bei einer bestimmten Schlagfolge, es macht sich auch hier ein merkwürdiges Gesetz geltend, welches diese psychischen Operationen sogar in das Gebiet der exactesten Leistungsfähigkeit hinaufzieht, sobald wir vom Einzelurtheil absehen und die durchschnittlichen Leistungen in einer grossen Zahl von Fällen beachten. Diese Leistungen sind für uns um so wichtiger, als die betreffenden Empfindungen als solche weniger mit bewussten Grössenwerthen, sondern offenbar mit etwas Qualitativem behaftet sind, das gleichwohl seiner Wesenheit nach ein Quantitatives ist.

Schliesslich haben wir noch die Fehler zu betrachten, mit welchen unsere Empfindungen von Zeitgrössen verbunden sind und die Aufsuchung der Grössenwerthe dieser Fehler. Dem Gesagten zufolge können wir in dreifacher Weise objective Rechenschaft geben über eine gehabte Zeitempfindung: 1) Wir reproduciren die Empfindung, indem wir das Intervall zwischen dem Beginn und dem Aufhören des Eindrucks mittelst zweier momentanen, kleinen Bewegungen signalisiren; oder 2) wir geben den Zeitwerth der Empfindung in absoluten Zeitgrössen: Tertien, Secunden u. s. w. an; oder 3) wir reihen die Dauer der Empfindung in irgend eine der geläufigen Zeit- oder Geschwindigkeitscategorien vom Instantanen bis hinauf zum extrem Langsamen ein.

Beschränken wir uns hier bloss auf den ersten Fall, so besteht die Aufgabe darin, dass der sinnlich wahrgenommenen Zeit: Normalzeit — wir brauchen im Folgenden den Fechner'schen analoge Benennungen — eine andere, die Vergleichszeit gleich gemacht werden soll. Dabei begehen wir einen Irrthum; Fehlzeit heisse die Zeit, welche wir der Normalzeit gleich gesetzt haben. Der Fehler, der nach + und — fallen kann, heisse roher Fehler. Er stellt den wahren Fehler dar, wenn die Summe der Fehlzeiten, di-

vidirt durch die Anzahl der Beobachtungen, der Normalzeit gleich oder so gut wie gleich ist. Aber in der Regel gleichen sich, selbst wenn man sehr viele Versuche anstellt, die Plus- und Minusfehler nicht aus, man erhält eine mittlere Fehlzeit, die unter Umständen sogar bedeutend von der Normalzeit abweicht. Die betreffenden Sinnesempfindungen, resp. Urtheile sind also mit einem konstanten (positiven oder negativen) Fehler behaftet, dessen Grösse ausgedrückt wird durch den Unterschied der mittleren Normalzeit von der mittleren Fehlzeit. Dieser Fehler ist in jeder Einzelbeobachtung in Abzug zu bringen; man berechnet also den Werth, den jede Vergleichszeit haben würde nach Abzug des konstanten Fehlers. Die Abweichung der so corrigirten einzelnen Vergleichszeit (Fehlzeit) von der Normalzeit ergibt den reinen variabelen Fehler. Da unsere Versuchsreihen in der Regel aus einer zum ersten Eindringen in das unbekannte Gebiet eben hinreichenden Zahl von Einzelversuchen bestehen, so wäre jedes andere Verfahren als das einfachste überflüssig für die Bestimmung des mittleren Fehlers; letztere geschieht desshalb durch einfache Ziehung des Mittels aus sämmtlichen variabelen Fehlern. Die Cautelen bei diesen Versuchen hat Fechner, auf dessen Darstellung verwiesen werden kann, genau besprochen.

Man erhält also: 1) den konstanten Fehler, dessen Ermittelung nicht bloss eine gewisse praktische Bedeutung hat, sondern, insofern es sich um einen dominirenden Einfluss handelt, auch für die Analyse des Empfindungsinhaltes von Werth sein kann und der unter Umständen auch einer Deutung fähig ist.

2) Den mittlern Fehler. Derselbe ist zugleich das natürlichste, beste Maass der Unterscheidungsempfindlichkeit; den Versuchsbedingungen gemäss muss derselbe kleiner ausfallen als die Grösse des eben noch merklichen Unterschiedes

zweier zur Vergleichung gebotenen Zeitwerthe, denn er stellt wie Fechner treffend bemerkt im Wesentlichen nichts anderes dar, als einen »unbemerkt gebliebenen Unterschied«.

3) Unter Umständen dürften die von Fechner nicht berücksichtigten Maxima der reinen variabelen Fehler, überhaupt auch die Art und Weise wie sämmtliche gemachten reinen variabelen Fehler von Null an bis zu ihrem Maximum sich vertheilen, Beachtung verdienen.

Das hier in Rede stehende Verfahren, die »Methode der mittleren Fehler« haben bekanntlich Fechner und Volkmann auf dem engeren physiologischen Gebiet zuerst eingeschlagen, um die Feinheit des Augen- und Tastmaasses zu bestimmen.

§. 7. Der empfundene Unterschied und sein Maass.

Unsere Fähigkeit, Zeit- und Raumgrössen an und für sich, d. h. in ihren absoluten Werthen aufzufassen, bedingt die weitere Fähigkeit, dieselben mit einander vergleichen zu können. Bei den meisten Specialsinnen ist die erstgenannte Fähigkeit, wenigstens in Bezug auf die Intensitätswerthe der Empfindungen wenig entwickelt, während die zweite bei ihnen in verhältnissmässig hohem Grade überwiegt. Auch die Generalsinne sind in Bezug auf das Unterscheidungsvermögen besser gestellt als in der Auffassung der absoluten Werthe der Reizgrössen.

Gleiche Zeiten, resp. räumliche Dimensionen erregen in uns im Allgemeinen gleichgrosse, oder besser gesagt nicht unterscheidbare Empfindungen; dasselbe ist aber auch der Fall, wenn die Unterschiede der Zeitwerthe gering sind. Bei einem gewissen Unterschied beginnen erst die Empfindungen ungleich zu werden. Dabei kommt es (s. §. 3) nicht auf den absoluten, sondern auf den relativen Unterschied der Zeitgrössen an;

wird eine kleine Zeit um einen absolut kleinen Werth vergrössert, so merken wir einen deutlichen Unterschied, nicht aber, wenn eine grosse Zeit um denselben absoluten Werth wachst. Dieser Punkt der Ebenmerklichkeit dient als Maass der relativen Unterscheidungsempfindlichkeit; wenn bei 10 und bei 20 Zeiteinheiten die Zu- oder Abnahme um eine Einheit überhaupt noch unterschieden werden kann, so wäre das Unterscheidungsvermögen $^1/_{10}$ und $^1/_{20}$, im zweiten Fall also noch einmal so gross als im ersten. Der Punkt der Ebenmerklichkeit darf übrigens nicht ausschliesslich in der Art bestimmt werden, dass man vom Nichtunterscheidbaren ausgeht, sondern man hat auch in umgekehrter Richtung zu verfahren, indem man mit leicht merklichen Unterschieden anfängt und wiederum mit der Feststellung des eben merklichen endet; dieser zweite, das Urtheil offenbar mehr erleichternde Weg ergiebt in der Regel etwas günstigere Werthe für die Unterscheidungsempfindlichkeit als der erstgenannte.

Je kleiner der relative Unterschied ist, welcher noch bemerkt wird, desto grösser ist die Empfindlichkeit; die Unterscheidungsempfindlichkeit ist also der Grösse des Reizzuwachses umgekehrt proportional.

Dieses vielfach angewandte Verfahren führt unter allen bei Weitem am schnellsten zum Ziel; sehen wir ab von den den Versuchen vorangehenden und dieselben vielfach unterbrechenden Tatonnements, so hat Fechner Recht, wenn er sagt: jede einzelne Beobachtung gibt an sich ein Resultat; man bestimmt die Grenze zwischen Merklichem und Unmerklichem, resp. das Uebermerkliche und erhält damit direkt das, um was es sich eben handelt, einen numerischen Ausdruck der Grösse der Unterscheidungsempfindlichkeit. Die Ergebnisse gestatten aber, als zu wenig detaillirt, kein weiteres Eindringen in die mannigfaltigen Fragen, welche bei der Untersuchung der

Unterscheidungsempfindlichkeit auf jedem Sinnesgebiet gelöst werden müssen. Desshalb kann die Methode zu nichts weiter als einer ersten Orientirung dienen.

Unsere Zeitversuche führen auf einen eigenthümlichen Fall dieser Methode. Bei den zahlreichen Anwendungen der letzteren auf verschiedene Sinnesgebiete wird, wie bemerkt, von 2 entgegengesetzten Richtungen aus der Punkt der Ebenunterscheidbarkeit allmälig gefunden. Man muss also, um zur gesuchten, der Ebenunterscheidbarkeit entsprechenden Differenz zweier Reizgrössen zu gelangen, in Präliminarversuchen nothwendig den Durchgang nehmen durch andere, unmerkliche oder weitaus übermerkliche Reizunterschiede und kann erst schliesslich, nachdem der Punkt der Ebenunterscheidbarkeit gefunden ist, diesen durch beliebig zu wiederholende Versuche besser feststellen. Man hat aber unter allen Umständen 2 objective Reizwerthe, denen gegenüber der Experimentator sich beobachtend, passiv verhält, und zwar selbst dann, wenn er sich die Grössen beider Reize selbst hergestellt hat und nicht etwa durch Andere hat einrichten lassen. Besteht dagegen die Aufgabe eine willkürliche Zeitgrösse zu markiren, z. B. eine von einem Dritten oder von uns selbst auszuführende Tactbewegung, um sogleich eine zweite Tactbewegung nachfolgen zu lassen, welche länger oder kürzer dauern soll, aber eben nur um so viel länger oder kürzer, dass uns dabei das sichere Bewusstsein eines von uns angedeuteten möglichst geringen Zeitunterschiedes begleitet, so schliessen wir hierbei jedes Tatonnement aus und verhalten uns zudem förmlich producirend, activ. Dabei stellt sich heraus, dass unser Wille zu viel leistet, dass unsere absichtlich markirten Zeitunterschiede weit in das Uebermerkliche hineinreichen, welches wir, wenn uns dieselben Zeitgrössen zur vergleichenden Beobachtung geboten würden, mit Leichtigkeit unterscheiden könnten.

Ausser dem so eben besprochenen einfachen Verfahren, der Methode »der eben merklichen Unterschiede« giebt es noch eine zweite Methode, welche zuerst 1853 und 1856 von den stud. Hegelmaier, Renz und Wolf in meinem Laboratorium zur Bestimmung der Schärfe des Augenmaasses und des Gehörs praktisch angewandt, und später durch Fechner (Psychophysik I. 93) theoretisch begründet worden ist, die von diesem Forscher so genannte Methode der richtigen und falschen Fälle. Wir wollen dieselbe an einem uns naheliegenden Beispiel erläutern.

Der zeitliche Reiz wirkt in jedem Einzelversuch zweimal nach einander auf das Sinnorgan und man hat die Aufgabe, die erstempfundene Zeit (Hauptzeit) mit der zweiten (Vergleichszeit) zu vergleichen. Gebraucht man z. B. ein Metronom, dessen Schlagintervalle durch das Gehör unterschieden werden sollen, so hat man in jeder Versuchsreihe die Hauptzeit constant zu nehmen und die (längere oder kürzere) Vergleichszeit alsbald nachfolgen zu lassen. Dabei sind alle Einstellungen des Metronoms vom Leichtunterscheidbaren bis zum Ununterscheidbaren zu wählen; die zur Herstellung der Vergleichszeit erforderliche neue Einstellung müsste, wenn in jedem Einzelfall eine bestimmte Schlagfolge gefordert würde, einen störenden Zeitverlust verursachen. Man vermeidet diesen Uebelstand, wenn man die Hauptzeit nach vorausgegangener genauer Einstellung des Metronoms angiebt, die Vergleichszeit aber durch eine schnelle Verschiebung des Laufers am Metronom; die Grösse der Verschiebung wird erst nach der von der Versuchsperson abgegebenen Entscheidung in Ruhe abgelesen. In einer Anzahl von Fällen endlich ist, ohne dass es die Versuchsperson bemerkt, die Verschiebung des Laufers zu unterlassen, sodass Haupt- und Vergleichszeit absolut gleich sind. Die Versuchsperson weiss, dass in jedem Einzelversuch 3 Fälle möglich

sind: die Vergleichszeit kann grösser, oder kleiner, oder der Hauptzeit gleich sein; die Entscheidungen müssen demnach jedesmal in eine dieser 3 Categorien fallen.

Was die Genauigkeit der Entscheidungen betrifft, so sind sie: I) Richtig: Die langsamere Vergleichszeit wird langsamer, die schnellere schneller, die unveränderte als gleich taxirt. II) Falsch. Diese zerfallen in zwei Abtheilungen. Die langsamere oder schnellere Vergleichszeit wird 1) der Hauptzeit gleich gesetzt oder 2) die langsamere wird als schneller, die schnellere als langsamer aufgefasst. III) Unentschiedene Fälle, in denen die Versuchsperson erklärt, keine bestimmte Aussage machen zu können, kommen bei den genannten Versuchsbedingungen nur ausserordentlich selten, als Folge einer momentanen Unaufmerksamkeit vor. Sie können aus dem Versuchsprotocoll weggelassen werden.

Im Speciellen handelt es sich um folgende Aufgaben:

I) Bestimmung derjenigen von der Hauptzeit möglichst wenig verschiedenen — grösseren und kleineren — Vergleichszeit, die von der Hauptzeit immer richtig unterschieden wird. Den Versuchsbedingungen zufolge muss die auf diesem Wege bestimmte Unterscheidungsempfindlichkeit viel geringer ausfallen, als bei der Methode der »ebenmerklichen« Unterschiede.

II) Differiren die Vergleichszeiten von den Hauptzeiten weniger als in I, so fallen nicht alle Entscheidungen richtig aus und das um so mehr, je geringer der Unterschied zwischen Haupt- und Vergleichszeit wird. Man hält desshalb z. B. die längere Vergleichszeit in einer Anzahl von Fällen für gleichgross wie die Hauptzeit, in andern Fällen sogar für kleiner als die letztere. In beiderlei Fällen wird die Vergleichszeit der Hauptzeit gegenüber subjectiv verkürzt, im ersten Fall aber offenbar weniger, als im zweiten, der den entschieden grösseren Fehler darstellt. Die bezüglichen Leistungen verschiedener

Menschen, oder desselben Menschen unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Bedingungen weichen sehr von einander ab. Der Eine sei z. B. im Stand, die Zeitgrössen 100 und 102 in 70 % aller Fälle richtig zu unterscheiden, während bei einem Zweiten für dieselbe % Zahl richtiger Entscheidungen die Zeitwerthe 100 und 104 erforderlich sind. Um also denselben Empfindungsunterschied hervorzubringen, ist bei dem Zweiten ein doppelt so grosser Reizunterschied nöthig, d. h. die Unterscheidungsempfindlichkeit ist nur halb so gross als bei dem Ersten. Die Unterscheidungsempfindlichkeit ist also umgekehrt proportional der Grösse der Reizunterschiede, welche zu demselben Verhältniss richtiger Entscheidungen geführt haben.

III) Endlich handelt es sich noch um die Vergleichung zweier Zeiten, die absolut gleich sind und um die Ermittelung der bei dieser Aufgabe gemachten Fehler. Die bisher nach der Methode der richtigen und falschen Fälle ausgeführten Untersuchungen haben der vorliegenden Frage keine Beachtung geschenkt; immer wurden zwei Eindrücke zum Vergleich geboten, von denen die Versuchsperson von vornherein wusste, dass sie different sind. Die Entscheidungen sind alsdann 1) bestimmt, seien sie falsch oder richtig, oder 2) das Urtheil wird in suspenso gelassen, was unter den genannten Versuchsbedingungen häufig genug vorkommt. Fechner rechnet die unbestimmten Entscheidungen hälftig zu den falschen und hälftig zu den richtigen.

Ich glaube, dass eine grössere Voraussetzungslosigkeit der Entscheidungen erzielt wird, wenn man in jeder Versuchsreihe eine Anzahl gleicher Eindrücke dem zu prüfenden Sinne darbietet. Unentschiedene Aussagen kommen, wie erwähnt, alsdann ausserordentlich selten vor. Zahlreich wiederholte Versuche führen für eine gegebene Haupt- und Vergleichszeit auf ein

bestimmtes Verhältniss der Zahl der richtigen Entscheidungen *(r)* zur Gesammtheit aller Entscheidungen *(n)*. Z. B. Zeitgrössen 100 und 102 geben 70 %, die Zeitgrössen 50 und 52 90 % richtiger Entscheidungen. Diese Ergebnisse sind aber nicht direkt mit einander vergleichbar; sie werden es erst dann, wenn für die Hauptzeit 50 die gleiche Vergleichszeit gefunden ist, welche wiederum 70 % richtiger Entscheidungen liefert. Dieser Aufgabe auf direktem Versuchswege zu genügen, wäre aber eine sehr umständliche, zeitraubende Arbeit. Fechner zeigte (Psychophysik I. 102 u. f.), dass zwei, nach der Methode der richtigen und falschen Fälle durchgeführte Versuchsreihen — ohne von vornherein auf direkte Vergleichbarkeit angelegt zu sein — nichtsdestoweniger mit einander verglichen werden können. Wenn nämlich 1) bei derselben Hauptzeit und derselben Vergleichszeit, also für denselben Unterschied *(D)* zwei mit verschiedenen Personen angestellte Versuchsreihen zwei verschiedene $\frac{r}{n}$ ergeben, so kann der Werth von D berechnet werden, welcher für die zweite Reihe zu demselben $\frac{r}{n}$ führen würde, wie in der ersten Reihe. Oder wenn 2) die Hauptzeiten verschieden sind in beiden Versuchsreihen, und z. B. dasselbe D bei kleinerer Hauptzeit ein günstigeres $\frac{r}{n}$ ergiebt, als bei grösserer, so lässt sich wiederum der Werth von D bemessen, welcher zu demselben $\frac{r}{n}$ für die zwei verschiedenen Hauptzeiten führen würde. Ist D diejenige Differenz der Vergleichszeit von der Hauptzeit, welche r mal in n Fällen richtig unterschieden wird und h die Unterscheidungsempfindlichkeit, so findet nach Fechner eine mathematische Beziehung statt zwischen hD und $\frac{r}{n}$, welche eine Ableitung von hD aus rn gestattet und somit, durch Division mit D das relative Empfindlichkeitsmaass h ergiebt. Fechner giebt (a.

a. O. S. 108 u. f. f.) sehr brauchbare Tabellen zur Erleichterung der Rechnung.

Die Wissenschaft besitzt bis jetzt nur eine einzige Versuchsreihe, welche den Anforderungen der Methode vollkommen genügt. Während langer Zeit widmete Fechner täglich eine Stunde der Prüfung der Unterscheidungsempfindlichkeit des Tast- und Muskelsinnes für Druckgrössen; eine auf nahezu 50,000 Einzelversuche begründete, umfassende Arbeit, die vorzugsweis im Interesse der mathematischen Ausbildung der Methode der richtigen und falschen Fälle und der Bewahrheitung des Weber'schen Fundamentalgesezes unternommen wurde. Der Drucksinn wurde an 6 Punkten der Reizscala (das Minimum und Maximum der 6 Hauptgewichte war 300 und 3000 Grammen) untersucht; die zu unterscheidenden Zusazgewichte differirten in sämmtlichen 6 Versuchsreihen um 4 und 8 % vom Hauptgewicht.

Die in §. 16 beschriebenen, nach derselben Methode ausgeführten Versuchsreihen über den Zeitsinn sind freilich sehr viel ärmer an Einzelversuchen, deren sie bloss gegen 2000 enthalten; gleichwohl reicht diese Zahl, wie ich hoffe, hin, um wenigstens den allgemeinen Gang der Erscheinung vom Standpunkt unserer Methode übersehen zu können. Während Fechner, wie so eben erwähnt, in jeder Versuchsreihe bloss je 2 Unterschiede der Reizstärken anwandte, variiren in unseren Versuchen die Vergleichszeiten sehr viel mehr; Tab. O. enthält 11, Tab. T. sogar 27 verschiedene Vergleichszeiten. Hätte ich mich in jeder Versuchsreihe, d. h. für jede Hauptzeit, bloss auf einen Reizunterschied beschränkt, so würde zwar eine viel genauere Bestimmung der Unterscheidungsempfindlichkeit möglich gewesen sein; aber andere, ausdrücklich beabsichtigte Vortheile wären verloren gegangen. Wenn man sich vornimmt, auch den Fall zu prüfen, wo die Differenz beider mit einander

zu vergleichenden Reize = 0 ist, ein Fall der ein ganz besonderes Interesse bietet, so muss man nothwendig eine grössere Zahl von Reizdifferenzen mit in die Untersuchung hereinziehen; man würde sonst Gefahr laufen, dass eben diese Fälle von Gleichheit der absoluten Reizgrössen der Versuchsperson allzu merklich würden. Dieser Umstand bestimmte mich überhaupt, die Reizdifferenzen viel mehr variiren zu lassen, als es die Fechner'sche Methode verlangt; verschiedene Erfahrungen hatten mich belehrt, dass die zu prüfende Unterscheidungsempfindlichkeit, wenn ihr immer wieder ein und derselbe Reizunterschied geboten wird, für eben diesen Unterschied mehr oder weniger geübt und ausgebildet wird, sodass die verhältnissmässigen Leistungen an anderen Stellen der Reizdifferenzenscala merklich andere sein können. Wegen anderer Bemerkungen, die sich auf das Allgemeine der Methode und der Versuchsbedingungen beziehen, verweise ich auf §. 16.

§. 8. Versuchstechnik.

Dass die zum Experimentiren über den Zeitsinn zu verwendenden Apparate in Bezug auf die Zuverlässigkeit ihrer Angaben und die unvermeidlichen Fehlerquellen genau geprüft werden müssen, versteht sich von selbst.

Die Graduirung des Mälzel'schen Metronom's muss durch sorgfältige Nachprüfungen constatirt, beziehungsweise berichtigt werden. Jedes der beiden von mir gebrauchten Exemplare gab unter allen Umständen in einer grösseren Zeit, z. B. ½ Minute, bei einer bestimmten Einstellung des Laufers genau dieselbe Anzahl von Schlägen bei zahlreich wiederholten Prüfungen; wurden aber beide Instrumente auf eine und dieselbe, mit Hülfe eines Secundenpendels genau regulirte Zeit eingestellt, so gelang es mir niemals, die Schläge auch nur eine

Minute lang in vollkommenem Isochronismus zu erhalten, obschon, wie gesagt, die Gesammtzahl der in dieser Zeit vollführten Schläge keine Unterschiede in beiden Apparaten bot. Diese Ungleichheiten im Gange der einzelnen Schläge sind übrigens, gegenüber unseren subjectiven Fehlern in der Auffassung und Unterscheidung von Zeitgrössen, so gering, dass gut gearbeitete Instrumente der Art nichts von ihrer Brauchbarkeit verlieren bei Untersuchungen der zeitlichen Unterscheidungsempfindlichkeit.

Zur graphischen Aufzeichnung der wahrgenommenen Zeit bediente ich mich eines einfachen Schreibhebelapparates und des Kymographions. Auch der von mir angegebene Sphygmograph wurde in einzelnen Versuchsreihen mit Vortheil angewandt. Der erstgenannte Apparat besteht aus einem zweiarmigen, um eine wagrechte Axe drehbaren, Hebel; der ungefähr 3 Zoll lange kurze Hebelarm trägt an seinem freien Ende ein stählernes Schreibstift mit scharfer Spitze (entsprechend der analogen Anordnung am Helmholtz'schen Myographion), der andere, 7 Zoll lange, Hebelarm dient zur Ausführung der die Zeit angebenden Bewegungen. Die Versuchsperson hat demnach die Aufgabe, die zeitliche Dauer des unmittelbar vorher empfundenen Sinnesreizes mittelst zweier sehr kleinen, dem Schreibhebel mitzutheilenden Fingerbewegungen auf dem rotirenden Kymographion zu verzeichnen. Dadurch wird der Anfang und das Ende, also die absolute Dauer der zu reproducirenden Zeit mit vollkommener Sicherheit aufgeschrieben. Die Bedingungen sind von der Art, dass die auszuführende Bewegung höchstens bei sehr kleinen Zeiten eine Störung einführen könnte und zwar ist von vornherein wahrscheinlicher, dass der Fehler eher eine Vergrösserung als eine Verkleinerung der nachzumachenden Zeit herbeiführen werde. Zeitwerthe unter $^1/_5$ Secunde habe ich desshalb niemals mittelst dieser Methode untersucht.

Bei Versuchen über zeitliche Unterscheidungsempfindlichkeit ist darauf zu sehen, dass die Sinnesreize desselben Sinnesgebietes, deren Zeitmaasse zur Vergleichung geboten werden, einander in ihrer Stärke und Qualität möglichst gleich sind. Desshalb musste ich z. B. bei einem Theil der an dem Gehörsinn angestellten Versuchsreihen die mit einander zu vergleichenden Schlagfolgen mit einem und demselben Metronom hervorbringen. Bei der Verwendung der zwei mir zu Gebot stehenden Exemplare hätte ich die beiden Schlagfolgen jeweils nach Belieben einrichten und somit für eine gleichmässigere Vertheilung der Fälle Sorge tragen können; aber der verschiedene Timbre beider Apparate würde die Vergleichbarkeit gestört haben; desshalb zog ich die Anwendung bloss eines Metronom's vor, wobei immer nur die erste Schlagfolge (Hauptzeit) genau eingestellt werden konnte, wogegen die Vergleichszeit — um keine Zeit zu verlieren und das Intervall zwischen beiden Schlagfolgen möglichst constant zu erhalten — durch schnelle Verschiebung des Laufers herzustellen war. Die Vergleichszeit konnte desshalb erst nachträglich abgelesen werden. Bei diesem Verfahren musste ich eine grössere Zahl von Differenzen der Vergleichszeiten mit in Kauf nehmen, als zur Ermittelung der Leistungen der Unterscheidungsempfindlichkeit unumgänglich nöthig ist — ein Uebelstand, der übrigens durch den am Ende des vorigen §. besprochenen Vortheil wenigstens in Etwas compensirt wird —, sowie auch bedeutende Ungleichheiten in der Vertheilung der Fälle in die einzelnen Rubriken der Vergleichszeit.

Die Versuche über Unterscheidungsempfindlichkeit ermüden die stark in Anspruch genommene Aufmerksamkeit allmälig und ergeben alsdann eine geringere Genauigkeit der Entscheidungen. Aus diesem Grunde wurde an jedem Versuchstag nur eine mässige Zahl von Einzelversuchen vorgenommen. Dem Einfluss

der Uebung wurde dadurch begegnet, dass die Versuchstage nicht zu rasch auf einander folgten. Bei der Prüfung des zeitlichen Unterscheidungsvermögens eines bestimmten Sinnes wurden die Eindrücke anderer Sinne möglichst abgehalten. Galt es z. B. den Zeitsinn des Getastes zu untersuchen, mittelst zweier die Haut nach einem gewissen Zeitintervall treffender momentaner Berührungen, so wurde das Auge verschlossen und der Gehörgang verstopft, um das kleine Geräusch des die Berührungen vollführenden und dieselben zugleich auf das Kymographion notirenden Hebelapparates abzuhalten. Die bei Experimenten über Unterscheidungsempfindlichkeit zu beobachtenden allgemeinen Cautelen sind in Fechner's Psychophysik einer so genauen Erörterung gewürdigt, dass ich — unter Verweisung auf jenes mustergültige Werk — eine nähere Besprechung derselben, die kaum etwas Anderes sein könnte als eine Nutzanwendung auf unser specielles Untersuchungsgebiet, unterlassen darf.

Um den zeitlichen Verlauf der Willkürbewegung beobachten und denselben mit der von der Versuchsperson beabsichtigten Bewegungsweise (gleichmässige, beschleunigte, verzögerte Bewegung) vergleichen zu können, dient für die in § 21 bis 23 beschriebenen Versuche folgendes Verfahren.

Die zu prüfende Bewegung muss uns sowohl geläufig und leicht ausführbar sein, als auch eine gehörige Excursionsweite gestatten. Deshalb wurden abwechselnde in horizontaler Richtung auszuführende Beugungen und Streckungen im rechten Ellenbogengelenk gewählt; der Vorderarm befand sich in der Mittelstellung zwischen stärkster Beugung und stärkster Streckung; die Hand war so pronirt, dass der Handrücken gerade nach aufwärts gerichtet war.

Der auf den oberen Rand einer horizontal gestellten, gut beweglichen, langen Messingstange leicht aufgedrückte zweite und dritte Finger hatte die Aufgabe, die Stange horizontal hin

und her zu verschieben. Um die Stange ohne alle Reibung in genau linearer Richtung mit beliebiger Geschwindigkeit bewegen zu können, diente dieselbe Vorrichtung, die ich zur graphischen Aufzeichnung der Schwingungen des Hämotachometerpendels anwende und hinsichtlich welcher ich auf meine Schrift über die Stromgeschwindigkeit des Blutes (Frankfurt 1858, Seite 19) verweisen darf.

Das Ende der Messingstange trägt ein im rechten Winkel abstehendes Stift, welches die Bewegungen auf die horizontal gestellte, berusste Kymographiontrommel aufzuschreiben hat.

Die Drehung des Kymographions erfolgt nicht rasch genug, um Bewegungen, die bloss einen Bruchtheil einer Secunde in Anspruch nehmen, graphisch verzeichnen zu lassen. Die, §. 21 beschriebenen, mit sehr grosser Geschwindigkeit ausgeführten Willkürbewegungen wurden auf eine um eine horizontale Axe drehbare Trommel verzeichnet, welche mittelst blosser Handbewegungen gedreht wurde. Zur Bestimmung der Drehungsgeschwindigkeit der Trommel in jedem Einzelmoment wurden gleichzeitig die auf ihre Constanz und absolute Dauer geprüften Schwingungen des Hämmerchens eines electromagnetischen Inductionsapparates auf die rotirende Trommel aufgeschrieben. Die Abscissen- und Ordinatenwerthe der graphisch verzeichneten Curven wurden mittelst Ocularmicrometers unter der Loupe ausgemessen. Wegen des Nähern verweise ich auf Dr. W. Camerer's Dissertation: Versuche über den zeitlichen Verlauf der Willensbewegung. Tübingen 1866.

§. 9. Unmittelbare Wiederholung der gehörten Zeit durch eine Taktbewegung.

Beginnen wir mit demjenigen Sinne, dessen Empfindlichkeit für Zeitgrössen und Unterschiede von Zeitgrössen bei jedem

Menschen am Meisten in Anspruch genommen wird, dem Hörsinn. Bei der Prüfung des Zeitsinns des Ohres mittelst der §. 6 geschilderten Methode der mittleren Fehler hat man die Aufgabe, die wahrgenommene Zeitgrösse durch irgend ein Mittel möglichst genau zu wiederholen. Man giebt z. B. an einem Metronom eine gewisse Schlagfolge von Tönen an, und die Versuchsperson hat alsbald an einem andern Metronom durch Verschiebung des Laufers eine möglichst gleiche Schlagfolge herzustellen.

Viel einfacher, weil frei von dem zeitraubenden Hin- und Herprobiren, ist aber folgendes von mir benützte Verfahren, das im Wesentlichen zu demselben Ziele führt. Der lange Hebelarm des §. 8 erwähnten Schreibhebelapparats wurde an seinem freien Ende mit einer nach abwärts gerichteten Stahlspitze versehen, welche beim Aufschlagen auf eine unterliegende Glasplatte einen momentanen Ton verursachte. Der kurze Hebelarm verzeichnete zugleich die Bewegung auf das Kymographion. Der Assistent gab mittelst zweimaligen Anschlagens der Platte eine Zeit von beliebiger Grösse an und ich hatte die Aufgabe — ohne die Bewegungen des Hebelapparates zu sehen — auf die beiden Töne, d. h. das Zeitintervall zwischen denselben zu achten und die so gehörte Zeit möglichst genau durch eine entsprechende Bewegung des Hebelapparates zu wiederholen. Ein Intervall zwischen der vom Assistenten angegebenen Hauptzeit und der von mir nachzumachenden Zeit sollte nicht vorhanden sein, der 2. Ton der Glasplatte bezeichnet also zugleich den Beginn der Vergleichszeit, sodass ich bloss einen Anschlag auf die Platte mittelst einer sehr kleinen Fingerbewegung auszuführen hatte. Die Ergebnisse sind in ihren Durchschnittswerthen in nachstehender, aus 1104 Einzelversuchen bestehender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle A.

Hauptzeit in Secunden.		Roher Fehler in % der Hauptzeit.	Reiner % variabeler Fehler.	Procentige Zahl der positiven rohen Fehler.	Zahl der Fälle.
Grenze.	Mittel.				
unter 0,25	0,204	+ 14,7	16,6	83	25
0,25—0,5	0,364	+ 9,9	15,4	77	49
0,5—0,75	0,626	+ 12,9	12,5	80	74
0,75—1,0	0,856	+ 11,1	10,9	80	60
1,0—1,25	1,129	+ 7,9	8,5	75	47
1,25—1,5	1,365	+ 5,3	8,7	63	54
1,5—1,75	1,614	+ 6,5	13,1	79	44
1,75—2	1,854	+ 3,0	15,1	63	42
2—2,25	2,099	+ 1,7	13,8	50	50
2,25—2,5	2,352	— 0,2	12,0	60	44
2,5—2,75	2,602	+ 2,3	12,5	52	41
2,75—3	2,832	— 2,1	15,8	45	35
3—3,5	3,230	— 2,5	15,1	43	48
3,5—4	3,677	— 7,0	12,2	33	30
4—4,5	4,264	— 5,2	13,7	48	50
4,5—5	4,721	— 5,6	19,2	46	89
5—5,5	5,230	— 3,8	14,3	40	51
5,5—6	5,733	— 4,2	13,1	40	49
6—6,5	6,194	— 4,8	10,0	36	73
6,5—7	6,685	— 7,5	16,0	30	44
7—8	7,462	— 6,2	19,2	33	62
über 8	8,860	— 8,1	15,3	25	43

Hat man die Aufgabe, eine durch das Gehörorgan wahrgenommene Zeit (Hauptzeit) in der angegebenen Weise möglichst genau zu wiederholen, so fällt die nachgemachte Zeit grösser aus als die Hauptzeit, wenn letztere klein ist, wogegen die nachgemachte Zeit kürzer wird, wenn die Hauptzeit gross ist. Die durchschnittlichen, positiven, rohen Fehler, in Procenten der Hauptzeit ausgedrückt (3. senkrechte Columne), nehmen

von der kleinsten Hauptzeit an immer mehr ab (einzelne Ausnahmen erklären sich aus der nicht hinreichend grossen Zahl von Fällen); zwischen 2¼ bis 3 Secunden wechseln kleine negative und positive Fehler; jenseits 3 Secunden Hauptzeit kommen nur noch negative Fehler vor, die im Allgemeinen etwas zunehmen mit zunehmender Dauer der Hauptzeit. Die Zahl der Einzelversuche reicht freilich eben nur aus, um den allgemeinen Gang der Erscheinung kennen zu lernen. Entsprechend dem über die relative Grösse der rohen Fehler Gesagten sind bei kleinen Hauptzeiten die Fälle in weitaus überwiegender Zahl vorhanden, in denen die wiederholte Zeit grösser ausfiel als die Hauptzeit, wogegen bei grossen Hauptzeiten die Fälle mit negativen rohen Fehlern die grosse Mehrzahl bilden. Die sehr wenigen Fälle, in welchen die wiederholte Zeit der Hauptzeit genau gleich war, sind den positiven und negativen Fehlern je hälftig zugetheilt (s. die 5. senkrechte Columne). In den Rubriken mit verhältnissmässig nur geringen, procentigen, rohen Fehlern vertheilen sich im Allgemeinen die Fälle der negativen und positiven Fehler mehr oder wenig gleichmässig; die negativen Fehler kommen bei den längern Zeiten viel häufiger vor, aber sie machen sich mit einer geringeren Grösse geltend, wesshalb die rohen negativen Fehlermittel in den letzten wagrechten Columnen geringere Werthe annehmen, als die positiven Fehlermittel der ersten wagrechten Columnen.

Der reine variabele Fehler nimmt mit zunehmender Hauptzeit I) in seinen absoluten Werthen immer mehr zu, II) in seinen procentigen — auf die Hauptzeit bezogenen — Werthen (4. senkrechte Columne) nimmt er anfangs ab, erreicht das Minimum bei 1—1½ Secunde mit 8,5 bis 8,7 Procenten, steigt sodann anfangs schnell, später aber nur sehr langsam und mit mannigfaltigen Abweichungen — bei 6—6½ Secunden besonders auffallend — in den Einzelrubriken; doch ist eine allmälige Zu-

nahme des Fehlers mit zunehmender Hauptzeit im Ganzen wohl nicht zu verkennen. Der Minimaldurchschnittswerth (8,5) des reinen Fehlers verhält sich zum Maximalwerth (19,2) wie 10 zu 22.

§. 10. Wiederholung der gehörten Zeit durch eine nach einer Pause ausgeführte Taktbewegung.

Diese aus 588 Fällen bestehende Versuchsreihe unterscheidet sich von der im vorhergehenden §. betrachteten bloss dadurch, dass die gehörte Zeit erst nach einer kleinen Pause mittelst des Schreibapparates auf dem Kymographion markirt wurde. Die Dauer der Pausen wurde nicht gemessen, doch gilt über dieselben annähernd das, was über die Grösse der Pausen in §. 14 wird erwähnt werden. Die Versuche stellte ich ebenfalls an mir an.

Tabelle B.

Hauptzeit in Secunden.		Roher Fehler in % der Hauptzeit.	Reiner variabeler Fehler in %.	Zahl der positiven Fehler in % aller Fälle.	Zahl der Fälle.
Grenzwerthe.	Mittelwerthe.				
0,5—0,75	0,644	+ 21,1	(8,0)	93	(15)
0,75—1	0,875	+ 22,7	11,6	91	35
1—1,25	1,103	+ 25,0	14,4	93	50
1,25—1,5	1,369	+ 24,6	16,6	92	53
1,5—1,75	1,600	+ 25,1	11,6	95	57
1,75—2	1,848	+ 17,3	13,7	91	44
2—2,25	2,115	+ 12,2	14,3	79	71
2,25—2,5	2,365	+ 4,0	11,8	48	49
2,5—2,75	2,589	+ 7,1	14,9	63	47
2,75—3	2,850	+ 6,2	(12,8)	75	(18)
3—3,5	3,210	+ 0,3	13,9	51	31
3,5—4	3,714	— 1,4	12,3	54	33
4—4,5	4,163	— 5,0	12,5	35	29
4,5—5	4,675	— 12,1	17,8	32	26
5—8,5	6,490	— 17,3	20,2	28	30

Auch bei den gegenwärtigen Versuchsbedingungen werden kleine durch das Hörorgan wahrgenommene Zeiten grösser, grosse Zeiten aber kleiner wiederholt, als sie wirklich sind. Gehen wir von der kürzesten Hauptzeit aus, so steigt der in % der letztern angegebene rohe durchschnittliche Fehler anfangs etwas; von der Hauptzeit 1,75 Sec. an sinkt er wieder, um zwischen 3—3,5 Sec. auf Null zu kommen; sodann nimmt er zunehmend grössere negative Durchschnittswerthe an. Dem entsprechend ist in den kleinen Hauptzeiten bis 2 Sec. die Zahl derjenigen Fälle, in denen der rohe Fehler positiv ausfiel, eine ganz überwiegend grosse (über 90 % aller Entscheidungen); hierauf nimmt die Häufigkeit der positiven Fehler rasch ab, zwischen 3—4 Secunden — dem Nullpunkt des rohen Fehlers — kommen positive und negative Fehler ungefähr gleich häufig vor, während die letztern von 4 Secunden Hauptzeit an das Uebergewicht erlangen.

Der reine variabele Fehler scheint am geringsten zu sein bei der kürzesten Hauptzeit, erhebt sich aber sogleich zu Werthen, die zwischen 1 bis 4,5 Sec. nicht so erheblich variiren, dass über seine Abhängigkeit von der zunehmenden Hauptzeit etwas Bestimmtes könnte ausgesagt werden: erst jenseits 4,5 Sec. Hauptzeit steigt derselbe unverkennbar. Das Minimum desselben, bei 0,6 Sec. verhält sich zum Maximum, bei 6,4 Sec. wie 10 : 25, ein Verhältniss, welches dem des vorigen §. ziemlich nahe steht, obschon die beiden Curven einen verschiedenen Gang bieten. Der Hauptunterschied besteht aber darin, dass die Mittel der rohen Fehler viel grösser sind als in den entsprechenden Rubriken der Tabelle A. Die procentige Zahl der Fälle roher positiver Fehler ist in der Regel viel grösser als in den entsprechenden Zeitrubriken der Tabelle A.

Zur weitern Prüfung der Leistungen des Zeitsinnes des Gehörs stellte ich an Hrn. Stud. Nebel aus Heidelberg die nach-

folgenden Versuche an. Sie wurden genau, wie die soeben erwähnten durchgeführt. Den 4 Versuchsreihen selbst, die je um 8—14 Tage aus einander lagen, gieng eine einstündige Einübung voran. In Folgendem gebe ich die Resultate der einzelnen Versuchstage gesondert für sich. Der reine variabele Fehler ist selbstverständlich nur in den Rubriken angegeben, welche keine zu geringe Zahl an Einzelversuchen einschliessen.

Tabelle C.

1. Tag.

Hauptzeit in Secunden.		Roher % Fehler.	Reiner variabler Fehler in %.	In % ausgedrückte Zahl der negativen rohen Fehler.	Zahl der Fälle.
Grenze.	Mittel.				
unter 0,5″	0,39	+ 17,4	13,5	7	20
0,5—1	0,63	+ 10,6	14,6	21	32
1—1,5	1,32	— 0,9	(4,1)	67	6
1,5—2	1,78	— 10,1	7,8	100	11
2—2,5	2,29	— 16,0	7,8	93	14
2,5—3	2,63	— 21,6	10,6	90	10
3—3,5	3,12	— 28,7	(6,2)	100	6
3,5—4	3,85	— 21,9		100	5
4—4,5	4,23	— 33,3		100	5
4,5—5	4,95	— 63,7			1
7—8	7,20	— 44,5			1

2. Tag.

unter 0,5″	0,38	+ 25,2	14,0	8	12
0,5—1	0,69	+ 12,8	8,8	5	36
1—1,5	1,22	+ 11,6	11,0	25	10
1,5—2	1,76	— 2,2	11,2	59	17
2—2,5	2,20	— 14,0	9,6	92	17
2,5—3	2,75	— 20,6	7,6	100	9
3—3,5	3,32	— 23,9	8,9	100	11

Hauptzeit in Secunden. Grenze.	Mittel.	Roher % Fehler.	Reiner variabler Fehler in %.	In % ausgedrückte Zahl der rohen negativen Fehler.	Zahl der Fälle.
3,5—4	3,70	— 33,1		100	3
4—4,5	4,30	— 33,3		100	3
4,5—5	4,83	— 30,2			1
5—5,5	5,26	— 28,7			1
3. Tag.					
unter 0,5	0,42	+ 17,3	7,0	8	12
0,5—1	0,74	+ 8,3	11,4	24	27
1—1,5	1,22	+ 5,7	12,1	42	13
1,5—2	1,78	— 2,8	13,2	54	13
2—2,5	2,28	— 12,9	12,3	81	14
2,5—3	2,79	— 19,4	9,9	90	10
3—3,5	3,29	— 29,9	8,9	100	11
3,5—4	3,71	— 31,0		100	8
4—4,5	4,19	— 27,3		100	3
5—6	5,43	— 39,3			1
7—8	7,43	— 43,4			1
4. Tag.					
unter 0,5	0,43	+ 12,7	14,8	12	8
0,5—1	0,74	+ 6,3	9,7	29	19
1—1,5	1,16	— 0,2	7,2	44	25
1,5—2	1,68	— 2,4	6,1	37	16
2—2,5	2,28	— 11,8	6,2	85	10
2,5—3	2,73	— 29,7	7,1	100	6
3—3,5	3,27	— 30,6		100	4
3,5—4	3,69	— 37,9		100	8
4—4,5	4,19	— 39,3		100	11
4,5—5	4,72	— 36,8		100	4
5—6	5,41	— 31,5		100	2

Die 4 Versuchstage geben folgende Endmittel:

Tabelle D.

Hauptzeit in Secunden.	Roher %Fehler.	Reiner variabeler Fehler.	In % ausgedrückte Zahl der negativen rohen Fehler.
unter 0,5	+ 18,1	12,3	8
0,5—1	+ 9,5	11,1	19
1—1,5	+ 3,0	8,7	44
1,5—2	— 4,3	9,4	62
2—2,5	— 13,7	9,0	88
2,5—3	— 22,8	8,9	95
3—3,5	— 28,3		100
3,5—4	— 31,0		100
4—5	— 33,3		100
5—8	— 41,0		100

Den in den Tabellen C und D niedergelegten Erfahrungen gemäss macht sich bei der Auffassung von Zeitgrössen derselbe konstante Einfluss geltend, den wir früher haben kennen lernen: Kleine Zeiten werden grösser, grössere dagegen kleiner von uns aufgefasst, als sie wirklich sind. Im Speciellen ergeben sich aber manche individuellen Ausnahmen, gegenüber den Werthen der Tabelle B. Der Punkt der Indifferenz, bei welchem die nachgemachte Zeit der gehörten gleich ist, stellt sich viel früher ein, schon bei 1,5 Secunden (statt bei 3,2 der Tabelle B). Die Fälle negativer roher Fehler steigen in Tabelle D ausnahmslos mit zunehmender Zeit, um jenseits 3 Secunden Hauptzeit ausnahmslos negativ zu bleiben, während bei mir selbst, s. Tabelle B, bei 3—4 Secunden Hauptzeit ebenso häufig positive wie negative Fehler und noch zwischen 5—8½ Secunden in etwa einem Viertel aller Fälle negative Fehler vorkommen. Ferner sind die positiven rohen Fehler konstant geringer, die negativen da-

gegen grösser in Tab. D gegenüber der Tab. B. Gehen wir von der kleinsten Zeit aus, so sinkt der reine variabele Fehler bis zur Rubrik 1—1,5 Secunden um etwa ¼ und erhebt sich auch in den darauf folgenden Rubriken grösserer Zeiten nicht sehr merklich wieder. Jenseits 3 Secunden kann von einer auch nur annähernd brauchbaren Bestimmung des reinen Fehlers wegen geringer Zahl der Einzelfälle nicht mehr die Rede sein.

Ich habe die Versuche in Tab. C detaillirter gegeben, um den Grad der Zuverlässigkeit der Endtabelle D, die im Gang der Einzelwerthe der ersten und der dritten senkrechten Columne auch nicht eine einzige Abweichung zeigt, näher beurtheilen zu lassen. Man wird nicht bestreiten können, dass die Zahlen der Tab. D, obschon sie bloss auf 457 Einzelbestimmungen beruhen, die Garantie einer recht leidlichen Approximation zur Wahrheit bieten.

Von dem in Tab. D gegebenen Durchschnittsgang bieten auch die 4 einzelnen Versuchstage, obschon jeder derselben bloss 111—120 Einzelbestimmungen enthält, keine grossen Abweichungen. Was die mit zunehmender Hauptzeit erfolgende allmälige Abnahme der Werthe der positiven rohen und die darauf sich einstellende Zunahme der negativen rohen Fehler anlangt, so erhalten wir in den je 11 Zeitrubriken der 4 Versuchstage, nur eine Ausnahme am 3., und je zwei Ausnahmen an den 3 übrigen Versuchstagen. Ebenso zeigt die procentige Vertheilung der Fälle der positiven und negativen rohen Fehler am 1. Tag bloss 2, am 4. bloss eine, am 2. und 3. dagegen gar keine Ausnahme. Man wird desshalb wohl im Stande sein, die Leistungen des Zeitsinnes verschiedener Personen, auf Grund von je einem halben Tausend, auf etwa 3—4 Versuchstage vertheilten, Einzelversuchen annähernd feststellen zu können.

An Hrn. Stud. Höring stellte ich eine ähnliche Versuchsreihe an, die aber nur aus 128 Einzelbestimmungen besteht.

Ich erwähne sie bloss desshalb, weil wir die Ergebnisse bei der Betrachtung anderer ebenfalls an Herrn Höring angestellten und aus relativ vielen Einzelfällen bestehenden Versuchsreihen mit Vortheil benutzen werden.

Tabelle E.

Gehörte Zeit in Secunden.	Nachgemachte Zeit in % der Hauptzeit.
bis 1	+ 19
1—1,5	+ 3
1,5—2	— 9
2—2,5	— 16
2,5—3	— 25
3—3,5	— 30
3,5—4	— 33

Der Punkt der Indifferenz liegt etwa bei 1,4—1,5 Secunden (wie in Tab. D) und der Gang des konstanten Fehlers zeigt, trotz der geringen Zahl von Einzelfällen, eine allmälige Abnahme der positiven und Zunahme der negativen rohen Fehler mit zunehmender Grösse der Zeit. Die Uebereinstimmung der Ergebnisse mit der Tabelle D ist überhaupt eine sehr grosse.

§. 11. Wiederholung periodischer Gehöreindrücke durch Taktbewegungen.

Die nachfolgende an Hrn. Stud. A. Höring aus Löwenstein nach der Methode der mittlern Fehler angestellte Versuchsreihe bildet eine Ergänzung der an Ebendemselben nach der Methode der richtigen und falschen Fälle gewonnenen, sehr viel zahlreichern Erfahrungen des §. 16. In beiden Versuchsreihen wurden durch ein Metronom 8 auf einander folgende Schläge, also je 7 gleiche Zeitintervalle, angegeben, die in den uns eben beschäf-

tigenden Versuchen mittelst des Schreibapparates am Kymographion sogleich wiederholt werden mussten. Die zwei letzten horizontalen Reihen der Tabelle F beziehen sich auf kleine, jenseits der untern Grenze der Metronomschläge liegende Zeiten, welche durch Anschlagen an eine Glasplatte angegeben wurden.

Unsere jetzige Aufgabe ist von der der beiden vorigen §§. wesentlich dadurch verschieden, dass es sich um die Wiederholung nicht einer einzigen, sondern von 7 auf einander folgenden gehörten Zeitgrössen handelt. Ein und dasselbe durch 2 Metronomschläge begrenzte Zeitintervall wird unter verschiedenen Umständen, ja sogar innerhalb derselben Versuchsstunde, verschieden gross empfunden; folgen jedoch die Schläge mit gleichen Intervallen unmittelbar auf einander, so hat man innerhalb derselben Schlagfolge immer den Eindruck gleich grosser Zeiten, vorausgesetzt dass die Schlagfolge nicht unter eine gewisse Geschwindigkeit sinkt. Wenn man die gehörten periodischen Schläge unmittelbar nach dem letzten Schlag am Kymographion zu reproduciren sucht, so hat man die Ueberzeugung, die Intervalle gleich gross angegeben zu haben, obschon die Ausmessung der einzelnen Intervalle keine vollkommene Gleichheit ergiebt. In unsern Versuchen wurden jedoch bei der Ausmessung der am Kymographion reproducirten Zeiten die 7 Intervalle jedes Einzelversuchs nicht für sich ausgemessen, sondern bloss die Gesammtdauer der 7 Intervalle.

Tabelle F.

Metronomschläge in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Fehler in %		Zahl der Fälle.
		Mittlerer roher	Reiner variabeler	
42	1,428	— 10,2	5,4	69
72	0,833	— 6,4	5,2	87
100	0,600	— 5,9	4,1	111
132	0,454	— 8,2	3,1	88
164	0,365	— 7,7	2,5	79
196	0,306	— 8,1	3,0	66
—	0,234	— 0,4	4,5	44
—	0,183	+ 1,3	3,9	49

Der reine variabele Fehler stellt sich in der ganzen Versuchsreihe als sehr klein heraus; von der langsamsten Schlagfolge an, welche das Fehlermaximum bietet, sinkt die Fehlergrösse allmälig, um in der Rubrik „164 Schläge“ das Minimum zu erreichen und sodann wieder — jedoch nicht ganz regelmässig — zu steigen. Die mehrmalige Wiederholung desselben Eindrucks unterstützt also die Genauigkeit der Auffassung in hohem Grade.

Der rohe Fehler ist negativ in fast allen Rubriken, d. h. die gehörte Zeit wird kleiner empfunden und reproducirt als sie wirklich ist. Am grössten ist der rohe Fehler wiederum bei der langsamsten Schlagfolge; die 5 nächstfolgenden Rubriken zeigen kein regelmässiges Verhalten; der Punkt der Indifferenz (roher Fehler nahezu $= 0$) fällt in die vorletzte Rubrik: bloss die kürzeste Zeit der Versuchsreihe ergiebt einen kleinen positiven rohen Fehler.

§. 12. Wiederholung zeitlicher Tasteindrücke durch Taktbewegungen.

Mittelst zweier in beliebigen Zwischenräumen auf einander folgenden momentanen Berührungen einer und derselben Hautstelle werden die Zeitgrössen angegeben und gleichzeitig auf das Kymographion verzeichnet; worauf nach einer kleinen Pause die Versuchsperson die empfundene Zeit möglichst genau am Kymographion zu wiederholen hat.

Die Versuche dieses §. stellte ich an mir selbst an. Die momentanen Berührungen der Haut wurden von dem Gehülfen mittelst eines Stahlstäbchens bewerkstelligt, welches, am freien Ende des längeren Hebelarms des Schreibapparates befestigt, mit seiner Spitze beim Senken des Hebelarms die darunter liegende Hautstelle momentan berührte. Als Reizstelle wurde die Mitte der Rückseite der linken, auf einer festen Unterlage liegenden Hand benützt. Mittelst zweier mit der rechten Hand ausgeführten kleinen Bewegungen des Schreibapparates markirte ich die empfundene Zeit auf das Kymographion; zwischen der Hauptzeit und dem Anfang der nachgemachten Zeit lag, wie in den Versuchen des §. 10, ein kleines Intervall. Dass die Augen geschlossen und die Ohren verstopft waren, um fremde Eindrücke abzuhalten, versteht sich von selbst. Da mit Sicherheit anzunehmen ist, dass etwaige specifische Einflüsse eines Sinnesapparates nur bei der Wahrnehmung kleinerer Zeitgrössen zur Geltung kommen, so beschränkte ich mich auf Zeiten, welche nicht über fünf Sekunden hinausgehen; die wenigen über fünf Sekunden dauernden Versuche sind in die nachfolgende Tabelle nicht aufgenommen.

Tabelle G.

Zeiten in Sekunden.	Zahl der Fälle.	Positive Fehler in % aller Fälle	Negative Fehler in % aller Fälle	Roher Fehler in %.	Mittlerer variabeler Fehler in %.
0,25—0,5	41	81	19	+ 9,5	15,7
0,5—0,75	48	72	28	+ 11,7	16,0
0,75—1,0	26	78	22	+ 14,1	13,9
1—1,25	56	84	16	+ 12,4	11,1
1,25—1,5	64	80	20	+ 13,2	13,9
1,5—1,75	73	76	24	+ 12,8	12,5
1,75—2	35	61	39	+ 8,1	12,5
2—2,25	41	47	53	+ 2,3	12,7
2,25—2,5	31	52	48	+ 0,4	12,4
2,5—3	47	46	54	— 1,2	11,9
3—3,5	50	50	50	+ 1,1	14,4
3,5—4	30	4	60	— 0,6	9,4
4—5	33	36	64	— 5,4	11,8

Auch das Tastorgan empfindet kleine Zeiten grösser, grössere dagegen kleiner als sie wirklich sind. Der in Procenten der Hauptzeit ausgedrückte positive rohe Fehler nimmt anfangs etwas zu, erreicht das Maximum bei $^3/_4$—1 Sekunde, sinkt sodann und ist schon bei 2—$2^1/_4$ Sekunden sehr gering. Zwischen $2^1/_4$—4 Sekunden treten abwechselnd unbedeutende + und — Fehler auf, jenseits 4 Sekunden wird der Fehler stärker negativ.

Fragen wir nach der Vertheilung der Fälle der + und — Fehler (in der Tabelle sind die ziemlich sparsamen Fälle, wo der Fehler = 0 war, hälftig dem —, hälftig dem + Fehler zugerechnet), so überwiegen die ersteren bedeutend bei kleinen, die letzteren bei grossen Zeiten. Auch ist bei kleinen Zeiten der mittlere positive Fehler viel grösser als der mittlere nega-

tive; zwischen $2^1/_4$—3,5 vertheilen sich die + und — Fehler ziemlich gleichmässig; bei grösseren Zeiten fallen die Durchschnittswerthe der negativen Fehler grösser aus.

Der mittlere variabele Fehler zeigt auch hier — wie in den §. 10 beschriebenen Versuchen, in welchen ich die gehörte Zeit ebenfalls nach einer kleinen Pause wiederholte — ziemlich hohe Werthe, sowie keine sehr deutliche Abhängigkeit von der absoluten Grösse der Zeit.

§. 13. Unmittelbare Wiederholung einer spontanen Taktbewegung.

Wenn wir, ohne auf unsere Umgebung zu achten, oder noch besser, unter vollständiger Abhaltung aller störenden äusseren Sinneseindrücke, zwei unmittelbar auf einander folgende Zeiträume unter sich vergleichen, so haben wir die deutliche Empfindung entweder ihrer Gleichheit oder eines grösseren oder geringeren Unterschiedes. Wir bekommen diese Empfindung auch dann, wenn wir in beiden Vergleichszeiten mit derselben Sorgfalt wie den äusseren Eindrücken, so auch jedem dem Gegenstand selbst fremden Gedanken den Zutritt verwehren, eine Forderung, welcher genügt werden kann, wenn die Zeiträume nur klein sind. Bloss drei bewusste Vorstellungen treten dann in uns auf: der Beginn der ersten, das Ende der zweiten Zeit und das Ende der ersten, resp. der Anfang der zweiten Zeit. Wie aber alles, was in unser Bewusstsein tritt, von sinnlichen Vorstellungen, oder von Vorstellungen gehörter Sprachlaute, resp. gemachter Sprechbewegungen (die oft genug in leise Lippen- und Zungenbewegungen umschlagen) begleitet ist, sodass auch das stille Denken in nichts-anderem besteht, als in einem förmlichen Reden mit uns selbst, so geben wir uns in dem fraglichen Versuchsfall wirkliche oder vorgestellte sinn-

liche Signale, um jene drei Zeitpunkte festzuhalten. Ohne solche Signale würden die beiden mit einander zu vergleichenden Zeiten für unser Bewusstsein scharfe Grenzen, deutliche Grössenwerthe vollständig entbehren. Vorstellungen gemachter momentaner Bewegungen mittelst irgend welcher, wohlgeübten und unserem Willen leicht zugänglichen Muskeln, also einer Fingerbewegung, einer Sprechbewegung, oder Vorstellungen instantaner Geräusche bilden demnach die Hülfsmittel, um die einzelnen Zeitpunkte unserem Bewusstsein zu signalisiren. So deutlich nun auch zwei auf diese Art markirten Zeitgrössen hinsichtlich ihrer relativen und selbst absoluten Werthe in unser Bewusstsein fallen, so bestimmt demgemäss unser Urtheil über ihre Grössenwerthe ausfällt, es fehlt uns gleichwohl jedes Mittel zur Feststellung der objektiven Richtigkeit unseres Urtheils. Letzteres ermöglichen wir erst dadurch, dass wir die Zeitpunkte, um die es sich handelt, mittelst gleichzeitiger, momentaner, kleiner Fingerbewegungen auf das rotirende Kymographion aufzeichnen. Damit führen wir keineswegs etwas der Vorstellung selbst Fremdes, eine neue, den Gegenstand verwickelnde Versuchsbedingung ein, sondern wir vollbringen im Wesentlichen denselben Akt, den wir mit dem stillen Signalisiren der Zeitpunkte verbinden und der unerhebliche Unterschied besteht bloss darin, dass statt der vorgestellten Bewegung oder statt der wirklichen Innervation von Muskeln, die wir jedoch keine Bewegungen auslösen lassen, eine kleine Bewegung nach Aussen wirklich übertragen wird. Die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden derartigen Bewegungen liegt, ist somit der objektive, messbare Ausdruck für unsere daran geknüpften zeitlichen Grössenvorstellungen.

Ich stellte mir demgemäss die Aufgabe, drei auf einander folgende kleine Taktbewegungen der Hand mittelst des Schreibhebel-Apparates auf das Kymographion so zu verzeichnen, dass

die zwei Takte eine genau gleiche Zeitdauer haben sollen. Die Augen sind geschlossen, die Ohren verstopft, um äussere Reize überhaupt und die Wahrnehmung der Wirkungen der Taktbewegungen vollständig abzuhalten, denn ein etwaiges Beachten der unvermeidlichen schwachen Geräusche während der Bewegungen des Takthebels oder gar der sichtbaren Bewegungen des Hebels würde eine störende Spaltung der Aufmerksamkeit, sowie auch die Mitwirkung des Zeitsinnes anderer Empfindungsgebiete mehr oder weniger einführen.

Dass man bei langen Zeiten jedes sonstige Unterstüzungsmittel, wie z. B. das subjektive Signalisiren von Zwischenpunkten zu vermeiden hat, dass man eine gegebene Zeit nicht etwa in einige Partialzeiten in der Vorstellung abtheilt, um Halt- und Zwischenpunkte zur besseren Auffassung des Ganzen zu gewinnen, versteht sich von selbst. Der an solche Versuche zuerst Herantretende bedarf in der That eines gewissen Willenseinflusses, um Einflüsse der Art vollständig fern zu halten. Ausserdem sind die Zeitgrössen für die auf einander folgenden Einzelfälle in einer und derselben Versuchsreihe gehörig zu variiren, damit nicht unbewusst eine dominirende Vorstellung einer bestimmten Zeitgrösse unterläuft, welche die unmittelbare Vergleichbarkeit des zweiten Taktes mit seinem Vorgänger erschweren würde.

Die nachfolgenden Versuche variiren innerhalb der weiten Grenze von im Mittel $^1/_6$ Secunde bis über 60 Secunden. An die kleinen Zeiten knüpfen sich förmliche Empfindungen, sie sind ohne jede weitere Interpretation ihres Inhaltes, wirklich »empfundene Zeiten« und erst von einer gewissen Grösse der Takte an ist die Auffassung mit einer wirklichen Reflexion und Beurtheilung verknüpft, die als unabweisbar sich nicht abhalten lässt. Bei kurzen Takten hüpft so zu sagen die Empfindung vom Beginn des ersten Taktes auf die beiden andern Zeitpunkte:

man hat zwei reine Zeitempfindungen innerhalb der 3 Taktbewegungen; wogegen bei längeren Zeiten für unser subjektives Gefühl die Zeit, in unserer Vorstellung, immer mehr anzuschwellen scheint. Wir selbst merken unter den gegebenen Versuchsbedingungen keinen Grössenunterschied zwischen beiden, durch kein Intervall von einander getrennten Zeiten; die sehr wenigen, bei vorübergehender Unaufmerksamkeit vorgekommenen Fälle, in denen ich einen Unterschied nachträglich merkte, mussten aus der Versuchsreihe gestrichen werden, in welcher es sich um die Aufgabe handelte, zwei Zeiten einander vollständig gleich zu machen.

Die nachfolgende Tabelle, welche sich auf 1717 Einzelversuche gründet, wird hinreichen, um die constanten Fehler, denen unser zeitliches Auffassungsvermögen unterliegt, sowie die Grösse der reinen variabelen Fehler, die wir bei der Signalisirung von Zeitgrössen unter den gegebenen einfachen Versuchsbedingungen begehen, wenigstens im Allgemeinen kennen zu lernen. Wegen der relativ grösseren Zahl von Einzelversuchen sind bei den Hauptzeiten nicht bloss die Grenzwerthe, sondern auch die Mittelwerthe angegeben.

Tabelle H.

Erste Taktbewegung in Secunden.		Nachgemachte Taktbewegung in % der ersten Bewegung.		Zahl der Fälle.
Grenze.	Mittel.	Mittlerer roher Fehler.	Mittlerer variabeler Fehler.	
0—0,33	0,202	+ 5,4	9,4	82
0,33—0,66	0,487	+ 2,2	7,0	80
0,66—1,0	0,887	+ 2,1	4,5	92
1—1,33	1,131	+ 1,8	5,4	91
1,33—1,66	1,535	+ 2,0	5,8	90
1,66—2	1,829	+ 0,3	6,1	100

Erste Taktbewegung in Secunden.		Nachgemachte Taktbewegung in % der ersten Bewegung.		Zahl der Fälle.
Grenze.	Mittel.	Mittlerer roher Fehler.	Mittlerer variabeler Fehler.	
2—3	2,431	— 0,4	9,4	109
3—4	3,551	+ 0,5	9,4	113
4—5	4,410	— 4,2	12,5	71
5—7	5,993	— 2,0	16,1	83
7—9	7,943	— 6,7	16,8	87
9—11	10,022	— 5,5	16,9	81
11—13	11,923	— 4,8	16,2	99
13—15	14,108	— 7,1	14,2	96
15—17	16,032	— 6,2	15,7	76
17—19	18,434	— 3,9	16,2	76
19—21	20,007	— 5,6	15,3	56
21—25	22,680	— 9,4	13,6	77
25—30	27,512	— 6,3	11,8	41
30—40	34,490	— 8,5	23,0	65
40—50	43,359	—12,3	19,7	34
50—90	65,120	—10,2	16,1	19

Der rohe Fehler ist demnach positiv bei kleinen Zeiten; der Indifferenzpunkt liegt zwischen 1,8 bis 3,5 (im Mittel etwa bei 2,6) Secunden; bei zunehmender Zeit wird der rohe Fehler im Allgemeinen zunehmend negativ. Der reine variabele Fehler nimmt von der kleinsten Zeit an ab, erreicht das Minimum mit bloss $4^1/_2$ % bei 0,9 Secunde; steigt dann allmälig wieder, und beträgt bei relativ grösseren Zeiten, von $^1/_4$ Minute an, etwa $^1/_6$—$^1/_5$ und darüber.

§. 14. Wiederholung einer spontanen Taktbewegung nach einer Pause.

Lässt man auf die Taktbewegung eine Pause und dann erst die zweite Taktbewegung folgen, die wiederum der ersten

möglichst gleich werden soll, so zeigen die Leistungen des Zeitsinnes eine nicht unerhebliche Modification gegenüber den Versuchsbedingungen des vorigen §. Auch diese Versuche stellte ich an mir selbst an.

Die Dauer des Zeitintervalls zwischen beiden Takten muss dem Taktirenden überlassen bleiben, der bald nach kürzerer, bald nach etwas längerer Zeit zur Wiederholung der gehabten zeitlichen Impression am Besten sich disponirt findet. Würde man anders verfahren und den zweiten Takt z. B. auf das Commando eines Dritten beginnen lassen, so wären Störungen unvermeidlich, welche sowohl von der Wahrnehmung des von Aussen gegebenen Zeichens, als auch davon abhängen, dass der Taktirende im Beginn des zweiten Taktes nicht immer in der zur möglichst richtigen Reproduktion der zuerst gemachten Bewegung erforderlichen Stimmung wäre. Eine gewisse Sammlung ist unumgänglich nöthig, bis man zur zweiten Taktbewegung gehörig vorbereitet ist, wenn anders die sonstigen Versuchsbedingungen denen des vorigen §. möglichst gleich gemacht werden sollen. Auch hat man während des Intervall's jeden der Sache fremden Gedanken, sowie äussere Reize vollständig abzuhalten, sodass bloss vier Merkzeichen deutlich in das Bewusstsein fallen, eben der Anfang und das Ende der beiden Takte.

Der Zeitsinn wählt sich die Intervalle gewissermassen instinktiv aus; dieselben zeigen jedoch keine Regellosigkeit, sondern eine deutliche Abhängigkeit von der Dauer der Hauptzeit. Ist letztere sehr kurz, so ist das Intervall verhältnissmässig am längsten; mit zunehmender Hauptzeit wird es verhältnissmässig immer kleiner. Dagegen wächst die absolute Dauer des Intervall's mit der Dauer der Hauptzeit, erreicht ein Maximum — in der nachfolgenden Versuchsreihe bei 6—8 Secunden Hauptzeit — und nimmt dann wieder ab.

Auch unter den gegenwärtigen Versuchsbedingungen werden kurze Takte länger, lange Takte aber kleiner wiederholt als sie wirklich sind. Bei 4,9 bis 5 Secunden Hauptzeit, also später als in den Versuchen des vorigen §, liegt der Punkt der Indifferenz, wo die nachgemachte Zeit der Hauptzeit gleich wird. Bei kleineren Hauptzeiten sind die positiven rohen Fehler — in Procenten der Hauptzeit ausgedrückt — also die Vergrösserungen der zweiten Taktzeit am grössten; sie fallen überhaupt viel grösser aus als in den entsprechenden Rubriken der Tab. H. des vorigen §. Jenseits 5 Secunden Hauptzeit nimmt der Fehler das negative Vorzeichen an. Der variabele Fehler wurde wegen der kleinen Zahl der Einzelversuche nicht bestimmt.

Tabelle I.

Hauptzeit. (in Secunden.) Grenze.	Hauptzeit. (in Secunden.) Mittel.	Mittlere Dauer des Intervalls.	Roher procentiger Fehler.	Zahl der Fälle.
0,33—0,66	0,49	1,73	+ 11,2	30
0,66—1	0,83	1,96	+ 6,5	28
1—2	1,43	2,14	+ 25,1	70
2—3	2,51	2,95	+ 10,0	87
3—4	3,54	3,46	+ 8,4	84
4—5	4,32	3,73	+ 4,1	54
5—6	5,40	4,45	— 3,3	56
6—8	6,80	4,90	— 2,8	54
8—11	9,37	3,51	— 6,7	38
11—17	13,28	3,77	— 8,5	28

Wenn die Dauer des Intervall's, wie in den vorliegenden Versuchen, ausschliesslich von der jeweiligen zur Wiederholung der ersten Taktbewegung günstigsten Disposition des Taktirenden abhängt, so kann von vornherein schwerlich angenommen wer-

den, dass die zunehmende Dauer des Intervall's das Vergessen der ersten Taktzeit begünstige. Um den Einfluss des Vergessens zu untersuchen, müssten systematisch wachsende, von dem Belieben des Taktirenden unabhängige Intervalle, damit aber auch die Störungen eingeführt werden, von welchen oben die Rede war. Die Frage, ob eine im Verhältniss zur ersten Taktzeit längere oder kürzere Dauer des instinctiv gewählten Intervall's auf die Genauigkeit der zweiten Taktbewegung von Einfluss ist, habe ich dadurch zu beantworten gesucht, dass die in die verschiedenen Hauptzeiten fallenden Versuche in 3 Categorien abgetheilt wurden; die erste umfasst diejenigen Versuche, in welchen das Intervall höchstens um 10 % nach Plus und Minus von der Hauptzeit differirt; während die 2te und 3te Categorie die Versuche einschliesst, in welchen das Intervall um mehr als 10 % kürzer, resp. länger war als die Hauptzeit. Bei den Hauptzeiten 0,49 und 0,83 differiren alle, bei 1,43 fast alle Intervalle um sehr viel mehr als + 10 % von der Hauptzeit, während bei den Hauptzeiten 9,37 und 13,28 alle Intervalle um mehr als 10 % kleiner sind als die Hauptzeit. Desshalb können zu der nachfolgenden Zusammenstellung bloss 5 Rubriken von Hauptzeiten: 2,51 bis 6,8 benüzt werden.

Tabelle K.

	Procentiger Unterschied der Dauer des Intervall's von der Hauptzeit.		Roher Fehler.
	Grenze.	Mittel.	
I	bis — 10 u. + 10	— 1,9	— 0,4
II	mehr als — 10	— 39,8	+ 4,4
III	mehr als + 10	+ 33,3	+ 4,4

Diejenigen Fälle, in welchen die Intervalle durchschnittlich ungefähr so lang wie die erste Taktbewegung dauerten (I), bieten also den geringsten rohen Fehler, wogegen stärkere Abweichungen der Dauer des Intervalls von der Dauer der ersten Taktbewegung, grössere rohe Fehler und zwar in demselben Sinne einführen.

§. 15. Vielfach wiederholte Taktbewegungen.

Wenn wir eine bestimmte Zeitgrösse in ununterbrochener Reihenfolge längere Zeit hindurch in unserer Vorstellung wiederholen und zugleich mittelst entsprechender augenblicklicher Bewegungen die Grenzen derselben durch den Schreibhebelapparat auf das Kymographion verzeichnen, so bieten die einzelnen Taktbewegungen unter sich Abweichungen, deren Grösse von der durchschnittlichen Dauer der Einzeltakte abhängt. Zu der vorliegenden Versuchsreihe, welche ich an mir selbst anstellte, brachte ich keinerlei Vorübung im Taktiren mit: Uebung und anhaltende Beschäftigung mit Musik mögen wohl die Leistungen erheblich verfeinern.

Die mittlere Dauer der Takte variirt in den verschiedenen Versuchsreihen zwischen 0,2 bis 10,4 Secunden. Aus den auf diese Weise graphisch verzeichneten Taktbewegungen würden sich die Abweichungen bestimmen lassen, welche jeder Einzeltakt von seinem Vorgänger bietet, sowie auch die Unterschiede zwischen dem kürzesten und längsten Takt einer und derselben grösseren Taktreihe. Ich habe jedoch bei der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse von diesen Aufgaben Umgang genommen, jede Versuchsreihe in je 10 Einzeltakte umfassende Perioden getheilt und mich beschränkt, das Verhältniss des kürzesten zum längsten Takt innerhalb jeder Einzelperiode festzustellen; ein Verfahren, welches hinreicht, um den Einfluss

der Dauer der Taktbewegungen auf deren Gleichmässigkeit erkennen zu lassen.

Meine Versuche mit langsamen Taktbewegungen schliessen viel weniger Einzeltakte ein, als die mit schnelleren Taktirungen; gestalten sich dadurch die Chancen der Abweichungen von der Gleichmässigkeit für die langsameren Taktbewegungen allerdings günstiger, so wird doch der Einblick in den allgemeinen Gang des Gesezes keineswegs gestört. Zum leichteren Verständniss der nachfolgenden Tabelle bemerke ich, dass z. B. die Versuchsreihe mit 0,222 Sec. mittlerer Taktdauer 70 Takte enthält, also 7 Perioden von je 10 Takten. In der Periode, welche die geringsten Abweichungen zeigt, ist der längste Takt 20% länger als der kürzeste; alle 7 Perioden bieten eine durchschnittliche Abweichung je des längsten Taktes vom kürzesten um 40 %.

Tabelle L.

a. Mittlere Dauer eines Taktes in Secunden.	*b.* Zahl der Perioden.	Dauer des längsten Taktes, der kürzeste = 100 gesetzt.		
		c. Periode der geringsten Abweichung.	*d.* Periode der grössten Abweichung.	*e.* Mittel aus allen Perioden.
0,222	7	120	150	140
0,225	8	110	150	137
0,333	12	119	133	124
0,370	4	108	115	113
0,375	8	112	137	125
0,398	12	105	123	115
0,462	8	104	127	117
0,607	6	106	129	119
0,625	7	106	119	114

a. Mittlere Dauer eines Taktes in Secunden.	*b.* Zahl der Perioden.	Dauer des längsten Taktes, der kürzeste = 100 gesetzt.		
		c. Periode der geringsten Abweichung.	*d.* Periode der grössten Abweichung.	*e.* Mittel aus allen Perioden.
0,731	6	111	125	119
0,858	4	118	135	125
1,03	4	118	131	124
1,05	4	112	122	117
1,11	4	116	124	118
1,17	4	115	118	116
1,20	3	111	114	112
1,49	3	108	117	114
1,81	2	116	133	124
2,00	2	131	135	133
2,10	2	111	121	116
2,60	3	129	132	131
2,62	3	114	119	117
2,85	1	—	—	110
3,17	1	—	—	117
3,20	3	150	160	154
3,23	1	—	—	114
3,27	2	122	125	123
3,70	2	130	147	138
4,04	1	—	—	128
4,81	1	—	—	155
5,32	1	—	—	135
5,60	1	—	—	140
6,21	1	—	—	146
6,21	1	—	—	180
6,25	1	—	—	163
6,27	1	—	—	123

a. Mittlere Dauer eines Taktes in Secunden.	*b.* Zahl der Perioden.	Dauer des längsten Taktes, der kürzeste = 100 gesetzt.		
		c. Periode der geringsten Abweichung.	*d.* Periode der grössten Abweichung.	*e.* Mittel aus allen Perioden.
6,38	1	—	—	161
6,60	1	—	—	119
6,80	1	—	—	175
9,05	2	145	165	155
9,10	1	—	—	207
10,42	—	—	—	184

Gehen wir von der kürzesten Taktbewegung aus, so nimmt die Gleichmässigkeit der einzelnen Takte anfangs zu mit zunehmender durchschnittlicher Dauer derselben, erreicht zwischen 0,4 bis etwa 0,7 Secunden ein Maximum, um sodann wieder abzunehmen. Sehr langsame Takte sind unter sich in höherem Grad abweichend als sehr kurze. Stellen wir die Werthe der Columne *e* in Gruppen zusammen, so ergeben sich folgende Endwerthe.

Tabelle M.

Dauer der Takte in Secunden.	Längster Takt, der kürzeste = 100.
bis $^1/_3$	134
$^1/_3$ — $^2/_3$	117
$^2/_3$ — 1	122 (wenige Fälle)
1—2	119
2—3	119
3—4	129
4—5	141
5—6	138

Dauer der Takte in Secunden.	Längster Takt, der kürzeste = 100.
6—7	151
9—10	181
über 10	184

Für die Perioden der geringsten *(c)* und der grössten *(d)* Abweichungen erhalten wir im Endmittel:

Tabelle N.

Dauer der Takte in Secunden.	Perioden geringster Abweichungen.	Perioden grösster Abweichungen.
bis $^1/_3$	116	144
$^1/_3$—$^2/_3$	107	125
$^2/_3$—1	117	130
1—2	116	124
2—3	118	124
3—4	134	151

In einer grösseren Reihe von aufeinander folgenden Taktbewegungen wechseln kürzere und längere Takte ohne Regel mit einander ab; auch lassen sich im Ganzen und Grossen, weder eine allmälige Vergrösserung, noch eine allmälige Verkleinerung der Taktbewegung, noch irgend welche periodische Oscillationen in der Dauer der Takte erkennen. Es betrugen z. B. die durchschnittlichen Dauern der einzelnen Takte in den 12 Perioden der Versuchsreihe 6, Tabelle L (0,398 Secunden) der Reihe nach: 0,403 — 0,396 — 0,397 — 0,402 — 0,402 — 0,392 — 0,399 — 0,396 — 0,393 — 0,392 — 0,413 — 0,398 Secunden.

§. 16. Vergleichung periodischer Gehöreindrücke.

Die hieher gehörigen Erfahrungen stellte ich an Hrn. Cand. med. A. Höring aus Löwenstein an, welcher dieselben in seiner Dissertation: Versuche über das Unterscheidungsvermögen des Hörsinnes für Zeitgrössen, Tübingen 1866, bekannt gemacht hat.

Sie vertheilen sich in 6 Reihen verschieden grosser, zwischen 0,3 bis 1,4 Secunde liegender, Hauptzeiten, die mittelst der Schläge eines Metronom's angegeben wurden. Jeder Einzelversuch gieng von irgend einer dieser 6 Hauptzeiten aus; das Metronom gab jedesmal 8 Schläge hinter einander an, also eine periodische Folge von 7 gleichen Zeiträumen. Alsbald wurde der Laufer des Apparates nach auf- oder abwärts verschoben und eine neue Reihe von 8 Schlägen zur Vergleichung geboten. In einer gehörigen Zahl von Fällen wurde, ohne dass es von der Versuchsperson bemerkt werden konnte, durch Unterlassung der Verschiebung des Laufers die Schlagfolge des Metronomes in der Vergleichszeit nicht verändert. Das sehr kurze Zeitintervall zwischen Haupt- und Vergleichszeit wurde in den Einzelversuchen möglichst gleich zu machen gesucht. Die Entscheidungen mussten jedesmal in eine der 3 folgenden Categorien fallen: Vergleichszeit grösser — oder kleiner — oder ebensogross wie die Hauptzeit. Unentschiedene Urtheile kamen (s. §. 7) nur in verschwindend kleiner Zahl vor.

Tab. O.

Hauptzeit: 42 Metronomschläge in 1 Minute.

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
37 und weniger	1,621	+ 13,5	6	100					6
38	1,578	+ 10,5	15	89	2	11			17
39	1,538	+ 7,7	9	90	1	10			10
40	1,500	+ 5,0	16	53	8	26	6	21	30
41	1,463	+ 2,4	10	56	4	22	4	22	18
42	1,428	0	12	25			sehn. 5	10	48
							lgs. 31	65	
43	1,395	— 2,4	6	38	6	38	4	24	16
44	1,363	— 4,6	18	55	7	21	8	24	33
45	1,333	— 6,6	7	78	1	11	1	11	9
46	1,304	— 8,7	9	50	5	28	4	22	18
47 u. mehr.	1,278	— 10,5	21	100					21
									226

Tab. P.

Hauptzeit: 72 Metronomschläge.

65 und weniger	0,923	+ 10,8	3	100					3
66	0,909	+ 9,1	10	91	1	9			11
67	0,895	+ 7,4	3	100					3
68	0,882	+ 5,9	8	100					8
69	0,869	+ 4,3	23	86	2	7	2	7	27
70	0,857	+ 2,9	10	100					10
71	0,845	+ 1,4	19	66	5	17	5	17	29
72	0,833	0	14	28			schn. 16	29	54
							lgs. 24	43	

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
73	0,821	— 1,4	7	47	2	13	6	40	15
74	0,810	— 2,8	10	48	7	33	4	19	21
75	0,800	— 4,0	8	54	4	26	3	20	15
76	0,789	— 5,3	16	67	5	21	3	12	24
77	0,777	— 6,7	11	85	2	15			13
78	0,769	— 7,8	6	100					6
79	0,759	— 8,9	8	89	1	11			9
80 u. mehr.	0,750	— 9,9	13	100					13
									261

Tab. Q.

Hauptzeit: 100 Metronomschläge in 1 Minute.

91 und weniger	0,659	+ 9,8	6	100					6
92	0,652	+ 8,6	2	67	1	33			3
93	0,645	+ 7,4	3	75	1	25			4
94	0,638	+ 6,3	5	100					5
95	0,631	+ 5,1	10	83	1	8,5	1	8,5	12
96	0,625	+ 4,1	16	76	5	24			21
97	0,618	+ 3,0	8	73	3	27			11
98	0,612	+ 2	21	73	4	13	4	14	29
99	0,606	+ 1	21	63	9	26	4	11	34
100	0,600	0	31	42			schn. 16	22	74
							lgs. 27	36	
101	0,593	— 1,1	12	55	4	18	6	27	22
102	0,588	— 2	14	56	3	12	8	32	25
103	0,582	— 3	18	76	2	8	4	16	24

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
104	0,576	— 4	19	79	5	21			24
105	0,571	— 4,8	9	100					9
106	0,566	— 5,6	7	87			1	13	8
107	0,560	— 6,6	9	90	1	10			10
108	0,555	— 7,5	8	89	1	11			9
109 u. mehr.	0,550	— 8,3	11	100					11
									341

Tab. R.

Hauptzeit: 132 Metronomschläge in 1 Minute.

123 und weniger	0,487	+ 7,2	9	100					9
124	0,483	+ 6,4	5	83	1	16			6
125	0,480	+ 5,7	14	100					14
126	0,476	+ 4,8	19	83	3	13	1	4	23
127	0,472	+ 4,0	8	89	1	11			9
128	0,468	+ 3,1	3	42	2	29	2	29	7
129	0,465	+ 2,4	17	52	8	24	8	24	33
130	0,461	+ 1,5	10	59	3	18	4	23	17
131	0,458	+ 0,9	6	40	6	40	3	20	15
132	0,454	0	26	38			schn. 18	27	68
							lgs. 24	35	
133	0,451	— 0,7	6	43	2	14	6	43	14
134	0,447	— 1,5	10	53	4	21	5	26	19
135	0,444	— 2,2	18	55	9	27	6	18	33
136	0,441	— 2,8	9	64	4	29	1	7	14
137	0,437	— 3,7	14	74	2	10	3	16	19
138	0,434	— 4,4	18	86	1	5	2	9	21

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
139	0,431	+ 5,0	1	50			1	50	2
140	0,428	+ 5,7	6	85			1	15	7
141	0,425	+ 6,4	5	83	1	17			6
142 u. mehr.	0,422	+ 7,5	4	100					4
									340

Tab. S.

Hauptzeit: 164 Metronomschläge in 1 Minute.

152 und weniger	0,394	+ 7,8	10	100					10
153	0,392	+ 7,3	3	75	1	25			4
154	0,389	+ 6,5	1	100					1
155	0,387	+ 5,9	2	67			1	33	3
156	0,384	+ 5,1	4	80			1	20	5
157	0,382	+ 4,6	7	70	1	10	2	20	10
158	0,379	+ 3,8	6	100					6
159	0,377	+ 3,2	10	72	2	14	2	14	14
160	0,375	+ 2,7	18	76	4	16	2	8	24
161	0,372	+ 1,9	5	60			3	40	8
162	0,370	+ 1,3	11	55	4	20	5	25	20
163	0,368	+ 0,8	6	33	9	50	3	17	18
164	0,365	0	27	37			sehn. 20	27	73
							lgs. 26	36	
165	0,363	— 0,5	4	44	3	33	2	23	9
166	0,361	— 1,1	10	50	7	35	3	15	20
167	0,359	— 1,6	13	65	5	25	2	10	20
168	0,357	— 2,2	13	63	5	23	3	14	21
169	0,355	— 2,7	9	68	4	32		13	13

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
170	0,352	— 3,5	5	72	1	14	1	14	7
171	0,350	— 4,0	12	76	2	12	2	12	16
172	0,348	— 4,6	9	68	4	32			13
173	0,346	— 5,1	4	80	1	20			5
174 u. mehr	0,344	— 5,8	17	100					17
									337

Tab. T.

Hauptzeit: 196 Metronomschläge in 1 Minute.

183 und weniger	0,327	+ 6,7	11	100					11
184	0,326	+ 6,4	4	67	2	33			6
185	0,324	+ 5,7	4	100					4
186	0,322	+ 5,4	2	67			1	33	3
187	0,320	+ 4,6	6	84			1	16	7
188	0,319	+ 4,2	15	72	5	23	1	5	21
189	0,317	+ 3,5	5	62	3	38			8
190	0,315	+ 2,9	5	100					5
191	0,314	+ 2,5	7	46	7	46	1	8	15
192	0,312	+ 1,8	13	47	11	39	4	14	28
193	0,310	+ 1,2	7	43	5	36	4	21	16
194	0,309	+ 0,9	12	44	10	37	5	19	27
195	0,307	+ 0,3	6	55	5	45			11
196	0,306	0	29	35			schn. 18 lgs. 35	22 43	82
197	0,304	— 0,6	2	26	3	37	3	37	8
198	0,303	— 0,9	12	55	9	40	1	5	22
199	0,301	— 1,6	18	76	4	16	2	8	24

Metronomschläge.			Richtig entschieden.		Der Hauptzeit für gleich gehalten.		länger mit kürzer verwechselt.		Zahl der Fälle.
in 1 Minute.	Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Procentige Differenz von der Hauptzeit.	absolut.	%	absolut.	%	absolut.	%	
200	0,300	— 1,9	22	82	5	18			27
201	0,298	— 2,5	6	86	1	14			7
202	0,297	— 2,9	5	83	1	17			6
203	0,295	— 3,5	8	80	1	10	1	10	10
204	0,294	— 3,8	9	64	5	36			14
205	0,292	— 4,5	2	100					2
206	0,291	— 4,8	6	100					6
207	0,289	— 5,4	3	75	1	25			4
208	0,288	— 5,7	1	50	1	50			2
209 u. mehr	0,287	— 6,1	4	100					4
									380

Die erstgehörte Zeit (Hauptzeit) ist, der darauf folgenden Vergleichszeit gegenüber, im Nachtheil; wir sind im Allgemeinen geneigt, die Hauptzeit etwas zu verkleinern. Will man desshalb die Unterscheidungsempfindlichkeit für 2 differente Metronomschläge bestimmen, so muss man, zur Elimination dieses störenden Einflusses der Zeitfolgen, in der einen Hälfte der Fälle die kürzere, in der anderen Hälfte die länger dauernde Schlagfolge als Hauptzeit wählen. Die Einrichtungen des Metronoms gestatten es aber nicht, den Laufer bei der Herstellung der Vergleichszeit schnell genug auf eine geforderte Schlagfolge einzustellen; ich musste desshalb — um das Zeitintervall zwischen den beiden mit einander zu vergleichenden Zeiten möglichst kurz und in allen Einzelversuchen gleich gross zu machen — von einer constanten Hauptzeit ausgehen, welcher, nach schneller Verschiebung des Laufers, die kürzere oder län-

gere Vergleichszeit alsbald nachfolgte, deren Zahlenwerth, nach abgegebener Entscheidung der Versuchsperson, in Ruhe abgelesen werden konnte.

Für die von Fechner (Psychophysik I. 93 u. f.) angegebene Methode der Berechnung der Unterscheidungsempfindlichkeit, welche mit Hülfe der (a. a. O. S. 108) aufgestellten Fundamentaltabelle in hohem Grad erleichtert wird, ist unser Versuchsmaterial, obschon aus nahezu 2000 Fällen bestehend, leider nicht gross genug. Unsere Fälle vertheilen sich auf eine zu grosse Zahl verschiedener Vergleichszeiten, sodass die den letzteren entsprechenden Werthe von $\frac{r}{n}$ zur Berechnung der Unterscheidungsempfindlichkeit im Sinne des Fechner'schen Verfahrens nicht verwendet werden können. Ich glaube übrigens gezeigt zu haben (§. 7), dass die Vertheilung der Erfahrungen über eine grössere Zahl von Reizunterschieden auch Vortheile gewährt, die, wenn es sich — wie hier — bloss um ein erstes Eindringen in den Gang der Erscheinungen handelt, nicht gering anzuschlagen sind.

Die Vergleichszeiten nehmen in den obigen Tabellen, von der Hauptzeit aus, nach ab- und aufwärts, um je 1 Metronomschlag zu und ab; desshalb sind die in Procenten der Hauptzeit ausgedrückten Unterschiede der Vergleichszeiten von den Hauptzeiten bei langsamerer Schlagfolge etwas grösser, als bei, um ebensoviele Schläge schnellerer Schlagfolge. Würde man jeweils die von der Hauptzeit nach auf- und abwärts um gleichviele Metronomschläge differirenden Vergleichszeiten, zur Compensation des in Rede stehenden constanten Miteinflusses, einander gegenüber stellen, so käme die langsamere Vergleichszeit etwas in Vortheil. Desshalb wurden die Versuchszahlen in ein Coordinatensystem eingetragen; die Abscissenwerthe entsprechen den % Differenzen der Vergleichszeiten von den Hauptzeiten, während die Ordinatenwerthe die procentigen Zahlen der rich-

tigen Entscheidungen ausdrücken. Gröbere Abweichungen von dem im Allgemeinen deutlich hervortretenden Gang der Erscheinung mussten durch Mittelwerthe ausgeglichen werden.

Die Ueberschriften der nachfolgenden Tabelle drücken für sämmtliche 6 Versuchsreihen das Verhältniss der richtigen *(r)* zu allen *(n)* Entscheidungen aus und zwar von $^{50}/_{100}$ an bis zu $^{100}/_{100}$. Die Zahlen der Tabelle geben diejenigen procentigen Differenzen *(d)* der Vergleichszeiten von den Hauptzeiten an, welche den verschiedenen Werthen $\frac{r}{n}$ zukommen; z. B. bei 42 Metronomschlägen werden bei 6,9 % Differenz beider Schlagfolgen 70 % aller Fälle richtig unterschieden. Ich erinnere dabei, dass in den Tab. O bis T zu den »richtigen« Entscheidungen bloss diejenigen gezählt werden, welche richtig im vollen Sinne sind, und dass die Fälle, wo die Vergleichszeit mit der Hauptzeit verwechselt, d. h. wo beide nicht unterschieden wurden, nicht etwa zur Hälfte den richtigen, zur Hälfte den falschen Entscheidungen zugerechnet ist.

Tab. U.

Metronomschläge in 1 Minute.	50	60	70	80	90	100	Summen.
42	3,8	5,4	6,9	8,2	9,5	12,0	45,8
72	1,9	3,2	4,1	4,9	6,1	9,7	29,9
100	0,8	1,5	2,5	4,0	5,9	8,8	23,5
132	1,8	2,6	3,4	4,4	5,7	7,4	25,3
164	1,3	2,0	3,0	4,1	5,4	6,9	23,7
196	1,1	2,2	2,8	3,8	4,9	6,4	21,2

Die mit »Summen« überschriebene senkrechte Reihe, gibt die Summen der *d* für sämmtliche $\frac{r}{n}$, also ungefähre Vergleichswerthe der Unterscheidungsempfindlichkeit in der ganzen Scala der Reizdifferenzen. Die Unterscheidungsempfindlichkeit ist bei

der langsamsten Schlagfolge entschieden am geringsten, sie ist nur etwa halbmal so gross als bei den schnelleren Schlagfolgen. Diese letzteren zeigen zwar keine sehr erheblichen Unterschiede; doch scheint eine kleine Zunahme der Unterscheidungsempfindlichkeit mit abnehmenden absoluten Zeiten gefolgert werden zu können. Die Werthe der vorletzten senkrechten Columne $\frac{r}{n} = 100$ als proportionale Ausdrücke der Unterscheidungsempfindlichkeit genommen, stimmen besser mit den nach einer anderen Methode gewonnenen Erfahrungen des §. 11.

Aus den Tabellen O bis T ist ersichtlich, dass mit zunehmendem Unterschied der beiden, mit einander zu vergleichenden, Zeiten die Zahl der richtigen Entscheidungen im Allgemeinen zunimmt. Was die »falschen« Entscheidungen im engeren Sinn betrifft, d. h. diejenigen, bei welchen die grössere Vergleichszeit für kleiner als die kleinere Hauptzeit gehalten wurde, und umgekehrt, so nehmen dieselben mit zunehmender Differenz der zu vergleichenden Zeiten ab und hören früher auf als die Fälle des geringeren Fehlers, in welchen eine längere oder kürzere Vergleichszeit der Hauptzeit für gleich erachtet wurde.

Was den constanten Fehler betrifft, so wird die erstgehörte Zeit gegenüber der Vergleichszeit im Allgemeinen etwas verkleinert; die Vergleichszeit, während sie empfunden wird, macht also einen etwas grösseren Eindruck als die Erinnerung an die unmittelbar vorher gehörte Hauptzeit. Bei gleicher Haupt- und Vergleichszeit fallen in der That die falschen Urtheile, d. h. diejenigen, in welchen beide Zeiten nicht für gleich erachtet wurden, viel häufiger zu Gunsten einer Verlängerung der Vergleichszeit, resp. Verkleinerung der Hauptzeit aus. Die der Hauptzeit gleiche Vergleichszeit wurde empfunden:

Tab. V.

Metronomschläge in 1 Minute.	als kleiner.	als grösser.
42	10%	65%
72	29	43
100	22	36
132	27	35
164	27	36
196	22	43

Am stärksten tritt also die Verkleinerung der Hauptzeit hervor bei absolut langsamen Metronomschlägen.

Halten wir uns an die Fälle, wo die Vergleichszeit von der Hauptzeit verschieden ist, so überwiegt die Zahl der falschen Urtheile, d. h. derjenigen, wo Grösser mit Kleiner verwechselt wurde, entschieden bei den kleineren Vergleichszeiten gegenüber den um ebensoviel grösseren Vergleichszeiten. Auch hören die falschen Urtheile bei grösseren Vergleichszeiten früher, d. h. bei geringeren %Unterschieden von der Hauptzeit, auf, als bei den kleineren Vergleichszeiten. Nur in den beiden letzten Versuchsreihen (absolut kleinste Hauptzeiten) kehrt sich das Verhältniss um zu Gunsten der kleineren Vergleichszeiten. Falsche Urtheile kommen noch vor bei folgenden stärksten procentigen Differenzen beider mit einander zu vergleichenden Zeiten:

Tabelle W.

Metronomschläge in 1 Minute.	Vergleichszeit grösser als die Hauptzeit.	Vergleichszeit kleiner als die Hauptzeit.
42	5,0	8,7
72	4,3	5,3
100	5,1	5,6
132	4,8	5,7
164	5,9	4,0
196	5,4	3,5

Von der Gleichsezung der kürzern oder längern Vergleichszeit mit der Hauptzeit ist von vorneherein zu erwarten, dass sie sich ähnlich verhalten werde, wie der eben besprochene Fehler; denn auch hier haben wir es mit einem analogen, wenn auch geringeren Fehler zu thun, d. h. einer Verlängerung der kürzeren und einer Verkleinerung der grösseren Vergleichszeit. In Tabelle O und P wird die kleinere Vergleichszeit der Hauptzeit häufiger gleich gesetzt, als die um ebensoviel grössere Vergleichszeit; bei kürzeren Hauptzeiten (Q und folgende Tabellen) tritt aber dieser Unterschied nicht mehr hervor.

Fragen wir nach den längeren oder kürzeren Vergleichszeiten, welche immer von den Hauptzeiten richtig unterschieden wurden, so stellt sich, s. Tabelle X, (mit nur einer unbedeutenden Ausnahme) eine Bevorzugung der kleineren Vergleichszeit heraus, was mit den eben besprochenen Wirkungen des konstanten Fehlers nicht vereinbar ist. In allen Fällen richtig entschieden wurden folgende in % der Hauptzeiten ausgedrückten Vergleichszeiten:

Tabelle X.

Metronomschläge in 1 Minute..	Vergleichszeit grösser als die Hauptzeit.	Vergleichszeit kleiner als die Hauptzeit.	Mittel.
42	13,5	10,5	12,0
72	10,8	9,9	10,3
100	9,8	8,3	9,0
132	7,2	7,5	7,4
164	7,8	5,8	6,8
196	6,7	6,1	6,4

Die mit „Mittel“ überschriebene senkrechte Columne der Tabelle X giebt die Mittelwerthe der beiden andern senkrechten Columnen. Diese den ursprünglichen Versuchstabellen O bis T entnommenen Werthe differiren somit nur wenig von den

da und dort durch Interpolation corrigirten Werthen der Haupttabelle U.

Die mit „Summe“ überschriebenen Zahlen der Tabelle U geben annähernd vergleichbare Werthe der Unterscheidungsempfindlichkeit bei verschieden grossen Hauptzeiten. Benützen wir die in den Tabellen O — T niedergelegten unmittelbaren Versuchsergebnisse zu einer analogen Zusammenstellung, indem wir die procentige Differenz (a) der beiden mit einander zu vergleichenden Zeiten multipliciren mit der procentigen Zahl (b) der Fälle richtiger Entscheidungen und sodann die Summe sämmtlicher $a \times b$ dividiren durch die Summe sämmtlicher b, so erhalten wir diejenige durchschnittliche procentige Differenz der Zeitgrössen, welche richtig unterschieden wird innerhalb der ganzen Differenzscala von der geringsten Differenz bis hinauf zu der grössten, von welcher an sämmtliche Entscheidungen richtig ausfallen. Diese Werthe, (s. Endwerthe Tabelle Y) an sich schon von Interesse, geben wiederum annähernd vergleichbare Ausdrücke der Unterscheidungsempfindlichkeit bei verschieden grossen Hauptzeiten.

Tabelle Y.

Metronomschläge in 1 Minute.	Grössere Vergleichszeit			Kleinere Vergleichszeit			Endwerthe.
	b	$a \times b$	Durchschnittliche Differenz in Procent.	*b*	$a \times b$	Durchschnittliche Differenz in Procent.	
42	388	3385	8,7	321	2343	7,3	8,0
72	643	3990	6,2	590	3911	6,6	6,4
100	710	3903	5,5	732	3774	5,1	5,3
132	648	2949	4,5	693	3092	4,5	4,5
164	888	4128	4,6	686	2358	3,4	4,0
196	887	3516	4,0	977	3558	3,8	3,9

Eine analoge Zusammenstellung der Fälle, in welchen die mit einander zu vergleichenden ungleichen Zeiten fälschlicherweis für gleich gehalten wurden — mit Einrechnung der Fälle „richtiger" Entscheidungen, wenn Haupt- und Vergleichszeit wirklich gleich war — ergiebt folgende Endwerthe:

Tabelle Z.

Metronomschläge in 1 Minute.	b	a×b	Durchschnittliche % Differenz der Zeitgrössen, die einander gleichgesezt wurden.
42	192	887	4,6
72	180	656	3,6
100	278	1042	3,7
132	312	764	2,4
164	398	949	2,4
196	595	1520	2,5

Es lässt sich wohl erwarten, dass die (in % ausgedrückten) Werthe der Tabelle Z den Werthen der reinen variabelen Fehler in Tabelle F §. 11 ziemlich nahe stehen müssen. Beide Tabellen ergeben eine merkliche Abnahme der procentigen Zahlenwerthe — also Steigerung der Unterscheidungsempfindlichkeit — bei abnehmenden Hauptzeiten und zwar bis zur schnellsten Schlagfolge (196 Schläge in der Minute), wo die Unterscheidungsempfindlichkeit wieder anfängt, etwas geringer zu werden.

§. 17. Die Vorstellung differenter Zeiten.

Wenn wir zwei auf einander folgende Zeitgrössen uns vorstellen, so zwar dass beide uns als eben unterscheidbar vorkommen sollen, so machen wir die Unterschiede unwillkürlich viel zu gross, d. h. wir nehmen Unterschiede, die, wenn sie uns objectiv geboten werden, weit in's Uebermerkliche eingrei-

fen. Die nachfolgende Tabelle giebt die Endwerthe einer kleinen Versuchsreihe, in der ich mir vorsetzte, auf das Kymographion Taktpaare in der Art zu verzeichnen, dass der zweite Takt eben merklich länger oder kürzer ausfallen sollte als der erste Takt. Beide Takte waren durch kein Intervall von einander geschieden; die Versuche sind somit denen der Tabelle H §. 13 gegenüber zu stellen. Ich hatte bei diesen Versuchen in jedem Einzelfall die sichere Ueberzeugung, beide Takte ungleich gemacht zu haben; auch sollte, den Bedingungen gemäss, in der vollführten zweiten Taktbewegung kein objectiver Fehler mitunterlaufen. Gleichwohl war es unvermeidlich, dass einige wenige Fehler letzterer Art sich einschlichen; sie wurden bei der Berechnung der Endwerthe ausgelassen. Die Zahlen der nachfolgenden Tabelle geben an, um wieviel — in Procenten der ersten Zeit ausgedrückt — die zweite Zeit kürzer oder länger gemacht wurde.

Tabelle A'.

Dauer der ersten Taktbewegung in Secunden.	Zweite Taktbewegung		Zahl der Fälle.
	kürzer beabsichtigt.	länger beabsichtigt.	
1—1,5	18	22	24
1,5—2	26	35	38
2—2,5	38	20	58
2,5—3	35	17	34
3—3,5	31	11	30
3,5—4	27	12	36
4—5	29	8	21

Vollführe ich zwei Taktbewegungen unmittelbar nach einander, in der Absicht, den zweiten Takt dem ersten genau gleich zu machen, so wird, nach Tabelle H §. 13, bei kleinen Zeiten der nachgemachte Takt länger, bei grössern Zeiten aber kürzer als die erste Taktbewegung. Die Grenze, wo der +

Fehler in den — Fehler übergeht, liegt (s. §. 24) etwa bei 2,6 Sekunden. Damit stimmen im Allgemeinen auch die Erfahrungen der Tabelle A'; soll der zweite Takt mit Sicherheit im einen Fall länger, im zweiten Fall kürzer ausfallen als der erste Takt, so wird bei kurzen Taktbewegungen (bis zu einer Taktdauer von 2 Sekunden) die Verlängerung des länger beabsichtigten Taktes verhältnissmässig grösser ausfallen, als die Verkürzerung des kürzer beabsichtigten Taktes. Bei Taktbewegungen, die über 2 Sekunden dauern, wird es sich dagegen umgekehrt verhalten.

Vergleichen wir endlich die Zahlenwerthe der Tabelle A', so sind sie ausserordentlich viel grösser als die Werthe der mittleren rohen Fehler in Tabelle II.

§. 18. Qualitative Zeitempfindungen des Gehörsinnes.

Geht man von der langsamsten Schlagfolge eines Metronomes zu immer schnelleren Schlägen über, oder umgekehrt von den schnellsten zu den allmälig langsameren, so hat der Gehörsinn zwischen dem Minimum und Maximum eine grosse Zahl verschiedener, von einander wohl unterscheidbaren zeitlichen Empfindungen. Bietet man dagegen die Schläge (jeweils etwa 10 gleichlange) in bunter, unregelmässiger Abwechslung, so ist die Zahl der unterscheidbaren Empfindungen, obschon die Schlagfolge innerhalb der weiten Grenzen von 40 bis über 200 in der Minute sich bewegt, eine auffallend geringe. Man wird unter diesen Umständen nicht leicht mehr als etwa 7 unterscheidbare Empfindungscategorien erhalten, die wir der Reihe nach als: sehr langsam — langsam — mässig langsam — adäquat (neutral) — mässig schnell — schnell — sehr schnell bezeichnen wollen.

Um die Art und Weise kennen zu lernen, wie diese Em-

pfindungen in der ganzen Reizscala sich vertheilen, habe ich 28, jeweils etwa über 1 Stunde sich erstreckende, Versuchsreihen an mir angestellt. Die Gesammtzahl der Einzelversuche beläuft sich auf 1875. Ein Gehülfe besorgte das Metronom, während ich in die genannten 7 Rubriken die gehabten Empfindungen eintrug. Erst in den spätern Versuchsreihen stellte sich in der Gegend des Minimums und Maximums der Reizscala eine neue Empfindung dann und wann ein, also ein „ungewöhnlich schnell“ und „ungewöhnlich langsam“, die jedoch — um die Vergleichbarkeit der spätern Versuche mit den Vorgängern nicht zu stören — keine besonderen Bezeichnungen erhielten und als „sehr schnell“ und „sehr langsam“ eingetragen wurden.

Man könnte bei der Verfolgung der vorliegenden und verwandter Aufgaben noch in anderer Weise verfahren und sich entweder versetzen, für jedes Tiktak statt der Empfindungsqualität die absolute Dauer des Intervall's, resp. die absolute Zahl von Schlägen in der Zeiteinheit, z. B. in einer Minute, zu taxiren; oder man könnte, ohne den Gehörsinn hereinzuziehen, versuchen, die Vorstellungen der genannten 7 zeitlichen Empfindungscategorien in zahlreich wiederholten und bunt mit einander abwechselnden Fällen, auf das Kymographion mittelst eines Hebelwerkes zu verzeichnen.

Die Versuchsergebnisse trug ich zunächst in bloss 12, um gleichviel wachsende Zeitrubriken ein, welche (da das Minimum 0,288, das Maximum 1,5 Sekunden betrug) sehr nahezu um 0,1 Sekunde zunahmen. Diese Zusammenstellung ergab eine auffallende Regelmässigkeit und nicht entfernt von mir erwartete Sicherheit in der Auffassung der zeitlichen Eindrücke. So unzuverlässig, ich möchte fast sagen willkürlich, jedes einzelne Urtheil auch sein mag; im Grossen und Ganzen tritt, wenn wir von der langsamsten Schlagfolge ausgehen, eine sehr regel-

mässige Abnahme der langsamen und Zunahme der schnelleren Empfindungsqualitäten hervor.

Ich trug desshalb die Versuche in die viel zahlreicheren Rubriken der nachfolgenden Tabelle ein. Zur bequemen Uebersicht sind die Zahlen der wagrechten Reihen in Procentwerthen angegeben; z. B. die Zeitgrösse 1,411 Sekunden wurde 88 mal als „sehr langsam", 12 mal als „langsam" aufgefasst. In jede der 20 ersten wagrechten Reihen fallen je 2 Metronomschläge, deren Mittelwerthe in Sekunden angegeben sind; die oberste Reihe entspricht 40 und 41, die zwanzigste Reihe 78 und 79 Schlägen in der Minute; von der 21. an fallen in jede wagrechte Columne je 3 Metronomschläge.

Tab. B′.

Zeit in Sekunden.	Sehr langsam.	Langsam.	Mässig langsam.
1,481	100	—	
1,141	88	12	
1,345	78	22	
1,291	67	33	
1,237	57	43	
1,188	46	50	4
1,142	51	43	6
1,101	36	60	4
1,074	18	72	10
1,037	22	63	15
1,000	29	63	8
0,965	12	56	32
0,930	—	50	50
0,902	7	50	43
0,875		53	47

Zeit in Sekunden.	Langsam.	Mässig langsam.	Adaequat.	Mässig schnell.	Schnell.	Sehr schnell.
0,851	21	67	12			
0,827	20	72	8			
0,805	25	67	8			
0,783	13	82	5			
0,764	16	72	9	3		
0,739	9	79	12			
0,714		65	32	3		
0,690		72	25	3		
0,664	2	23	61	14		
0,645		21	68	11		
0,625		8	67	25		
0,606		15	50	35		
0,588		8	67	25		
0,571		7	59	35		
0,555			32	62	6	
0,541			45	45	10	
0,527			25	58	17	
0,513			26	54	18	
0,500			6	23	65	6
0,487			5	50	40	5
0,476			8	25	67	—
0,465			8	17	62	13
0,454			3	24	66	7
0,444				11	78	11
0,434				12	78	10
0,425			3	3	83	11
0,416				7	68	25
0,408				3	63	34
0,400					60	40
0,392			3	3	58	36
0,384				4	33	63

Zeit in Sekunden.	Mässig schnell.	Schnell.	Sehr schnell.
0,377	2	59	39
0,370	4	59	37
0,363		54	46
0,357	2	41	57
0,350		23	77
0,344		23	77
0,339		23	77
0,333		16	84
0,327		27	73
0,322		16	84
0,317		10	90
0,312		7	93
0,307			100
0,303		4	96
0,298		7	93
0,294			100
0,289			100

Nach den in der obigen Tabelle niedergelegten Erfahrungen nehmen mit zunehmender Zahl der Metronomschläge die Urtheile der langsameren Categorien immer mehr ab, die der schnelleren immer mehr zu. Sehen wir ab von den beiden Extremen „sehr langsam“ und „sehr schnell“, deren Empfindungsbezirke selbstverständlich über die obere und untere Grenze der Metronomschläge hinausreichen, so beginnt für jede der 5 übrigen Geschwindigkeitscategorien die Empfindung bei einer gewissen Schlagfolge; mit zunehmender Zahl der Schläge werden die Empfindungen dieser Categorie immer zahlreicher, bis zu einem Maximum, von wo ab sie allmälig abnehmen, um bei einer gewissen Geschwindigkeit vollständig aufzuhören.

Die Maxima der Einzelcategorien fallen auf folgende Zeiten:

Tab. C′.

langsam	1,07	Sekunde
mässig langsam	0,78	„
adäquat	0,64	„
mässig schnell	0,55	„
schnell	0,42	„

Das Maximum fällt — mit bloss einer Ausnahme — sehr nahezu in die Mitte zwischen der obern und unteren Grenze seiner Empfindungscategorie; die von beiden Grenzen gleichweit abstehende Zeit ist nämlich:

Tab. D′.

bei langsam	1,04	Sekunde
mässig langsam	0,88	„
adäquat	0,62	„
mässig schnell	0,56	„
schnell	0,42	„

Diese Werthe sind denen der Tabelle C′ — mit bloss einer Ausnahme — nahezu vollständig gleich.

Die absolute zeitliche Breite der einzelnen Empfindungscategorien d. h. der absolute Zeitunterschied beider Grenzwerthe nimmt gegen die langsamen Empfindungscategorien immer mehr zu; sie beträgt nämlich:

Tab. E′.

bei schnell	0,25	Sekunde
mässig schnell	0,40	„
adäquat	0,46	„
mässig langsam	0,61	„
langsam	0,75	„

Die relative Breite der einzelnen Empfindungscategorien, d. h. das Verhältniss der kleinsten zu der grössten Zeit, die überhaupt noch in eine bestimmte Categorie fällt, bleibt dagegen ungefähr gleich mit nur einer Ausnahme. Setzen wir die untere Grenze (kleinste Zeit) jeder Empfindungscategorie = 100, so hat die obere Grenze folgende Werthe:

Tab. F′.

langsam	213
mässig langsam	207
adäquat	218
mässig schnell	211
schnell	166

Das durchschnittliche Verhältniss wäre somit 100 : 203, also nahezu 1 : 2. Die geringere Breite der Empfindungscategorie „schnell“ scheint eine zufällige zu sein. Halten wir uns an die Maxima der Tabelle C′, indem wir die Intervalle zwischen den Einzelcategorien und zwar in der Richtung von dem Langsameren gegen das Schnellere, sowie auch umgekehrt bestimmen, so schreitet die Empfindung vorwärts: zwischen schnell und mässig schnell (und umgekehrt) um 27 % — zwischen mässig schnell und adäquat um 17 % — zwischen adäquat und mässig langsam um 19 % — zwischen mässig langsam und langsam um 27 %. Es ist vielleicht kein Zufall, dass die Gegend des Adäquat in dieser Hinsicht als die bevorzugteste erscheint.

§. 19. Die Schätzung grösserer Zeiträume.

Aufgaben der Art treten täglich an uns heran; wir schätzen einen bestimmten Zeitpunkt nach Stunden und Minuten der Uhr, sowie auch die Zeit, die Minuten, Stunden, Tage, Wochen u. s. w., die seit einem bestimmten Ereigniss abgelaufen sind. Wir sehen

hier ab von der Taxation sehr grosser Zeiträume, die zum grössten Theil auf besonderen Hülfsvorstellungen und Anhaltspunkten beruht — eine Frage, die übrigens sehr wohl verdiente, einmal in den Bereich der messenden Beobachtung gezogen zu werden — und beschränken uns auf die Schätzungen von Zeitgrössen, die die Dauer einer Stunde nicht überschreiten.

Da es hierbei viel auf Uebung, auf zahlreiche Nebenumstände u. s. w. ankommt, so musste ich bemüht sein, alle diese Miteinflüsse möglichst fernzuhalten. Die Beobachtungen erstrecken sich auf etwa zwei Jahre; an keinem Beobachtungstag wurde, eben zur Elimination der Uebung, mehr als eine Bestimmung gemacht. Gleichwohl konnte ich es nicht über anderthalb Hundert Erfahrungen bringen, da gar manche Beobachtungen durch Zwischenfälle gestört wurden. Die Versuche würden reinere Ergebnisse liefern und — was die Hauptsache ist — unter sich besser vergleichbar sein, wenn man das Opfer bringen wollte, während der Versuchszeit sich unthätig und beschäftigungslos zu verhalten, wohl auch alle äusseren Sinnesreize möglichst abzuhalten, Opfer, die übrigens ein späteres genaueres Eindringen in die Physiologie des Zeitsinnes nothwendig bringen muss. Meine Zeitbestimmungen wurden angestellt, während ich im physiologischen Institut mit kleinen Handarbeiten, namentlich Herrichtung und Zusammenstellung von Apparaten beschäftigt war. Mit den grössten Fehlern wären solche Messungen behaftet, wenn sie in die Zeit geistiger Arbeit, oder sonst gewohnter gewöhnlicher Beschäftigungen fielen; im ersten Fall wird die Zeit sehr falsch — in der Regel viel zu kurz — taxirt; im zweiten Fall bieten sich zu viele, durch lange Gewohnheit gewonnene Anhaltspunkte für das Urtheil dar. Uebrigens wäre auch die experimentelle Feststellung dieser Einflüsse von nicht geringem Interesse. Meine Beobachtungen leiden leider auch an dem Fehler, dass ich die Aufschreibungen selbst

machte, also Gelegenheit hatte, den von mir begangenen Fehler nach jeder Einzelbestimmung zu erfahren. Die Notirung, wenigstens des Endzeitpunktes des Versuchs sollte ein Dritter besorgen und die Versuchsperson vor Abschluss der Versuchsreihe Nichts von ihren Entscheidungen erfahren. Die Zeiten selbst taxirte ich nach Minuten.

Tab. G'.

Wirkliche Zeit in Minuten.	Abweichung der taxirten Zeit von der wirklichen in % der letztern. (Roher % Fehler.)	Reiner variabeler Fehler in %.	Zahl der Fälle.
5—10	+ 1,4	17	41
10—15	— 11,0	12	20
15—20	— 4,3	20	32
20—25	— 5,9	30	26
25—35	— 12,6	25	18
35—62	— 28,6	21	11

Relativ kleinere Zeiten taxire ich also durchschnittlich etwas grösser, grössere aber, ungefähr von 10 Minuten an aufwärts, kleiner als sie wirklich sind. Die Thatsache, dass Zeiten von 5—10 Minuten durchschnittlich noch etwas überschätzt werden, ist nicht im Widerspruch mit unserer, an verschiedenen Sinnen wohl constatirten Erfahrung, dass der Punkt der Indifferenz (wo die empfundene Zeit der objectiven gleich ist) schon bei 1,5—2 Sekunden liegt; im letztern Fall haben wir es mit wirklichen Empfindungen zu thun, hier aber mit einer auf complicirteren Prämissen beruhenden Vorstellung, die auf ein conventionelles Maass zurückgeführt wird.

Es erinnern übrigens die vorliegenden Erfahrungen insofern an die früher gewonnenen Versuchsresultate, als auch hier das relativ Kleine subjectiv vergrössert, das relativ Grosse dagegen verkleinert wird.

§. 20. Die Wahrnehmung von Geschwindigkeiten mittelst des Sehsinns.

Zur Untersuchung des Unterscheidungsvermögens des Sehsinns für Geschwindigkeiten benützte ich zunächst eine Atwoodsche Fallmaschine. Das Fallgewicht, das im Anfang des Fallens hinter einem Brette sich bewegte, hatte, nachdem es durch die bekannte Nebenvorrichtung eine gleichförmige Geschwindigkeit erlangte, hinter einem etwa 1 Fuss langen Ausschnitt des Brettes durchzugehen, worauf so schnell wie möglich der Vergleichsversuch mit einer andern Geschwindigkeit nachfolgte. Der Zeitraum zwischen beiden Versuchen war jedoch zu gross, die Bedingungen für das Unterscheidungsvermögen also viel zu ungünstig, sodass ich diese Versuchsweise aufgeben musste, die sich übrigens dann sehr empfehlen würde, wenn man über 2 Fallmaschinen zu gebieten hätte.

Ich sezte mir desshalb die Aufgabe, nach der Methode der mittlern Fehler zu verfahren, d. h. eine von einem Gehülfen vorgezeichnete Geschwindigkeit alsbald möglichst genau zu wiederholen. Die Bewegungen wurden mittelst des mehrerwähnten Schreibhebelapparates angegeben und gleichzeitig auf das Kymographion verzeichnet. Die zum Aufschreiben der Bewegung dienende, am kürzeren Hebelarm angebrachte Stahlspitze, war zugleich das Object, dessen Geschwindigkeit beobachtet werden sollte, während der Apparat vom längeren Hebelarme aus in Bewegung gesetzt wurde. Zwei am letzteren Hebelarm angebrachte Hemmungen bewirkten, dass die Stahlspitze immer denselben Raum — 20 Millimeter — durchlief. Das Kymographion selbst war meinem Blicke entzogen. Nachdem der Gehülfe mit seiner Bewegung fertig war, hatte ich dem Apparat dieselbe Geschwindigkeit mitzutheilen und zugleich die Bewegung der

Stahlspitze zu beobachten. Die Geschwindigkeiten variiren in der nachfolgenden Tabelle um das Zwanzigfache; obschon der Gehülfe die vorgezeichneten Bewegungen mit der Hand anzugeben hatte, sodass sie nicht genau gleichförmig ausfallen konnten, so wurden doch erst bei langsamen Bewegungen kleine Geschwindigkeitsunterschiede während den Einzelphasen einer Bewegung unter Umständen wahrgenommen.

Tab. H'.

Zeit in Sekunden.		Zur nachgemachten Bewegung verwandte Zeit, in % der Hauptzeit.	Zahl der Fälle.	Positive Fälle, in % aller Fälle.
Grenze.	Mittelwerth.			
bis 0,25	0,183	+ 35,2	76	95
0,25—0,5	0,370	+ 16,4	68	75
0,5—0,75	0,612	+ 2,5	37	66
0,75—1	0,858	+ 0,5	30	70
1—1,25	1,150	— 2,3	27	45
1,25—1,5	1,368	— 0,9	12	58
1,5—1,75	1,622	— 4,1	12	46
1,75—2	1,886	— 8,7	10	30
2—3	2,459	— 7,3	8	25
3—4,8	3,960	— 3,2	5	40

Die in der Tabelle verzeichneten nachgemachten Geschwindigkeiten fallen langsamer aus, als die empfundenen Geschwindigkeiten, wenn sie überhaupt schnell sind. Diese Verlangsamung nimmt ab mit abnehmender absoluter Geschwindigkeit, und wird bei 0,85 Sekunden (Sekundengeschwindigkeit = 23,3 Millimeter) nahezu Null. Der constante Fehler schlägt nunmehr in das Gegentheil über, d. h. langsame Bewegungen werden schneller nachgemacht als sie wirklich sind.

§. 21. Der zeitliche Verlauf der Willensbewegung mit beabsichtigter gleichmässiger Geschwindigkeit.

Das Verfahren, welches zur Selbstregistrirung der ausgeführten Willensbewegung diente, ist §. 8 geschildert. Die Versuche der §. 21—23 wurden von Herrn Dr. W. Camerer im hiesigen physiologischen Institut ausgeführt und von demselben in seiner Dissertation: Versuche über den zeitlichen Verlauf der Willensbewegung, Tübingen 1866, bereits bekannt gemacht.

Die Bewegung durfte selbstverständlich nur durch den Willen, nicht aber durch eine mechanische Hemmung arretirt werden. Beabsichtigen wir, der Reihe nach Bewegungen von gleicher Grösse, gleicher Dauer und von einer während des ganzen Verlaufes gleichen Geschwindigkeit auszuführen, so bieten die Einzelbewegungen unter sich erhebliche Unterschiede, sowohl hinsichtlich der Zeit als des durchlaufenen Raumes. Viel ungleicher fallen aber die durchlaufenen Räume aus, wenn wir denselben vorgestellten Weg in jedem Einzelversuch mit verschiedener Geschwindigkeit zurückzulegen suchen. Der durchlaufene Weg ist dann durchschnittlich kleiner wenn wir grosse Geschwindigkeiten, grösser wenn wir geringere Geschwindigkeiten beabsichtigen. Um allzugrosse Ungleichheiten der durchmessenen Räume zu vermeiden, wurden in unseren Versuchen die beiden Raumgrenzen für das Auge durch Marken bezeichnet; gleichwohl macht sich auch jetzt noch der Einfluss des in Rede stehenden constanten Fehlers, wenn auch in viel geringerem Grade und weniger regelmässig geltend, wie die Werthe der mit B überschriebenen Columnen der Tabellen I′ und K′ zeigen *).

Die Ueberschriften der verticalen Columnen A, B und C

*) Für die in weniger als 0,8 Sekunden vollführten Bewegungen waren grössere durchlaufene Räume beabsichtigt, als bei den übrigen Versuchen.

bedürfen für die Tabellen I′ und K′ keines weitern Zusatzes; die gesammte Bewegungszeit ist in 10 gleiche Theile getheilt, die in den mit I, II ... bis X überschriebenen verticalen Columnen untergebracht sind. Der im Ganzen durchlaufene Raum ist = 100 gesetzt, sodass die in den einzelnen Zeitzehnteln eingetragenen Zahlen die in Procenten des ganzen Weges ausgedrückten Räume angeben, welche von Anfang der Bewegung an bis zum Ende des fraglichen Zeitzehntels durchlaufen worden sind.

Tab. I.

A Dauer der Bewegung in Sekunden.	B Grösse der Bewegung in Millimetern.	C Sekundengeschwindigkeit der Bewegung in Millimetern	Extensionsbewegungen.										Zahl der Versuche.
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
0,689	61,0	88,5	4,2	12,1	22,0	34,4	48,3	62,3	76,2	89,7	97,7	100	1
0,8—1,2	63,4	61,0	5,5	14,2	24,3	36,4	49,8	62,8	73,6	83,6	91,2	100	5
1,2—1,6	54,6	40,1	3,5	10,4	21,6	35,3	49,3	62,7	74,0	84,7	93,3	100	51
1,6—2,0	54,6	32,3	4,4	13,4	24,4	36,6	50	61,9	72,6	83,2	92,7	100	22
2,0—2,4	55,9	25,3	5,9	17,2	28,5	40,2	51,2	59,9	72,3	82,1	91,9	100	13
2,4—2,8	57,1	22,6	4,9	13,3	24,1	35,9	46,6	58,8	70,1	80,2	90,5	100	12
2,8—3,2	60,0	20,3	6,2	16,2	27,0	37,9	48,2	59,2	70,0	79,7	90,0	100	26
3,2—3,6	63,2	18,6	6,0	15,2	25,2	34,8	46,2	57,3	68,0	78,6	89,6	100	15
3,6—4,0	72,6	19,3	5,4	13,9	24,9	34,8	45,7	57,7	69,4	80,4	90,2	100	8
4,0—4,5	67,8	15,9	4,9	14,0	21,7	34,2	44,5	56,8	69,0	80,7	90,9	100	6
4,5—5,0	73,4	15,9	6,9	16,3	27,1	37,3	48,9	58,8	70,3	81,6	91,4	100	5
5,0—5,5	72,8	14,4	6,9	17,8	28,0	37,9	48,8	59,1	69,9	81,3	90,9	100	4
5,5—6,0	74,6	13,1	6,6	16,2	27,5	33,1	45,6	55,9	65,0	78,5	89,9	100	4
6,0—6,5	70,2	11,3	7,1	17,4	26,7	37,5	47,2	56,7	68,1	79,1	89,9	100	14
6,5—7,0	67,3	10,0	7,6	17,5	27,2	36,4	47,1	56,8	69,7	78,2	89,6	100	5
7,0—7,5	72,0	9,9	5,5	14,6	24,0	35,1	45,7	55,6	66,2	78,1	90,9	100	3
7,5—8,0	68,1	8,8	7,0	16,6	26,4	35,7	46,0	56,2	67,7	78,4	90,0	100	10
8,0—8,5	71,1	8,6	7,2	17,0	25,7	34,7	44,9	55,1	61,7	77,2	89,3	100	7
8,5—9,0	68,0	7,9	7,3	17,6	27,6	37,2	47,1	55,9	67,6	78,1	88,7	100	8
9—10	65,4	7,0	7,6	16,7	25,4	34,9	43	52,4	64,4	76,7	87,8	100	8
10—11	68,0	6,5	8,4	17,5	26,2	35,2	44,0	53,7	63,7	75,0	85,0	100	10
11—13	70,7	5,9	7,8	16,7	26,6	34,4	43,7	54,3	64,8	76,1	88,5	100	10
13—20	72,9	4,8	7,9	17,3	25,4	35	45,4	55,7	65,0	76,4	87,4	100	10

Tab. K'.

A Dauer der Bewegung in Sekunden.	B Grösse der Bewegung in Millimetern.	C Sekundengeschwindigkeit der Bewegung in Millimetern.	Flexionen.										Zahl der Versuche.
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
0,34	56,6	166,5	3,2	9,0	19,4	35,5	55,8	71,9	84,3	92,9	97,9	100	1
0,56	61,4	109,6	3,4	14,0	32,6	56 2	71,8	84,7	90,7	96.2	99,0	100	1
0,8—1,2	54,6	60,0	4,0	12,2	23,8	37,0	51,7	66,4	80,2	89,0	95,6	100	25
1,2—1,6	56,7	43,6	5,2	15,7	27,5	40,0	53,1	66,3	77,9	86,9	94,4	100	22
1,6—2,0	58,6	33,3	3,9	12,1	22,5	34,8	47,4	61,4	73,4	85,3	93,5	100	16
2,0—2,4	50,3	23,8	8,2	18,9	31,4	43,9	55,5	66,2	77,3	85,7	93,8	100	16
2,4—2,8	63,4	23,4	7.6	19,7	31,6	43,1	54,6	65,9	76,3	86,4	94,2	100	16
2,8—3,2	61,7	21,0	7,9	18,1	29,5	40,3	51,2	61,7	71,4	82,0	92,7	100	20
3,2—3,6	69,9	20,9	7,2	17,9	29.6	39,6	49,6	58,2	69,2	81,7	92,9	100	5
3,6—4,0	69,9	19,2	5,0	15,2	28,3	40,2	51,9	62,0	71,4	82,3	92,4	100	9
4,0—4,5	68,2	15,9	8,9	20,1	33,3	46,5	58.9	67,3	77,3	86,8	93,1	100	4
4,5—5,0	72,4	15,4	8,0	21,0	32,0	43,4	54,8	64,2	73,8	82,9	92,8	100	4
5,0—5,5	69,2	13,0	11,1	22,3	32.8	43,7	54.9	63,9	76,2	84,7	93,1	100	6
5,5—6,0	70,2	12,3	9 0	20,2	30 6	39.0	50,4	61,1	71,5	81,6	90,9	100	7
6,0—6,5	67,5	10,8	10,0	21,1	32 0	42,5	54.0	64,1	74,9	83,1	92,0	100	5
6,5—7,0	69,0	10,2	6.8	13,9	24,4	36.0	47,0	58,6	67,8	79,0	90,3	100	4
7,0—7,5	70,0	9,8	9,1	19,9	31.3	42,7	53,1	62,6	72,7	82,4	91,7	100	7
7,5—8.0	68,2	8,9	10,6	21,7	31.3	41.5	48,7	62,3	72,2	82,7	91,9	100	7
8,0—8,5	69,1	8,2	10,3	18,3	30.3	42,1	52,2	62,4	72,5	83,2	92,3	100	6
8,5—9,0	66,9	7,4	11,5	22.3	33.8	44,4	55.1	66,7	76,6	85,1	94,0	100	8
9—10	68,3	7,2	8,4	18,7	29,9	40.6	52,1	60,9	72 4	82,9	92,4	100	8
10—11	68,7	6.6	10,6	22,2	33.2	42.3	52,5	62,5	72,2	82,3	92,3	100	13
11—13	68,3	5,6	11,7	22.3	33,8	42,1	53,2	63,8	72,7	82,5	92,3	100	12
13—20	70,4	4,7	10,1	21,5	29,9	38,6	45,6	58,6	67,9	75,6	88,3	100	7

Zur Ermittelung der Gesetzmässigkeit, nach welcher verschieden schnelle constante Willkürbewegungen erfolgen, ist ein Kymographion erforderlich, dessen Trommel mit viel grösserer Geschwindigkeit sich dreht, als das von uns angewandte, sodass die Bewegungszeit in eine sehr viel grössere Zahl gleicher Abschnitte getheilt werden könnte. Die Ausmessung der auf diese Weise graphisch verzeichneten Bewegungscurven wäre freilich ein sehr mühsames, zeitraubendes Geschäft. Die Haupterscheinungen, welche die constanten Willkürbewegungen zeigen, treten aber auch bei dem von uns angewandten Verfahren deutlich hervor.

Ein Ueberblick über die Tabellen I′ und K′ zeigt, dass eine als constant beabsichtigte Bewegung gleichwohl nicht mit gleichmässiger Geschwindigkeit in den Einzelphasen der Bewegungszeit vollbracht wird, obschon der die Bewegung Ausführende keine Abweichung von der Constanz bemerkt. Die Bewegung geschieht mit anfangs zunehmender und sodann abnehmender Geschwindigkeit; da jedoch vom Beginn des dritten Zeitzehntels an, bis fast zum Ende der Bewegung die Geschwindigkeitsunterschiede während der einzelnen Phasen (die Phase = $^1/_{10}$ der ganzen Bewegungsdauer) nicht bedeutend sind, so können wir 3 Hauptphasen von sehr ungleicher Dauer unterscheiden: 1) Zunehmende Geschwindigkeit, 2) Annähernd gleich bleibende Geschwindigkeit, fast während der ganzen übrigen Bewegungszeit; 3) Abnehmende Geschwindigkeit.

Für sämmtliche Extensionsbewegungen zusammengenommen, ohne Rücksicht auf ihre so sehr verschiedene Geschwindigkeiten, erhalten wir folgende Endwerthe:

Tab. L′.

	Durchlaufener Raum am Ende jedes Zeitzehntels.	Abweichung von der mittleren Geschwindigkeit 10.
1. Zeitzehntel	6,29	— 3,71
2. „	15,17	— 1,12
3. „	25,54	+ 0,37
4. „	35,85	+ 0,31
5. „	46,83	+ 0,98
6. „	57,63	+ 0,80
7. „	68,65	+ 1,02
8. „	79,90	+ 1,25
9. „	90,32	+ 0,42
10. „	100,00	— 0,32

Bei den Extensionsbewegungen ist die Geschwindigkeit im ersten Zeitzehntel geringer als im letzten Zeitzehntel. Die Extensionsbewegungen zeigen diese Norm bei allen Geschwindigkeiten, mit alleiniger Ausnahme der grössten Geschwindigkeit, welche Rubrik übrigens bloss einen einzigen Fall einschliesst.

Der Nachweis, dass die allgemeinen Normen unserer Zeitauffassung sich auch bei der Ausführung constanter Willkürbewegungen geltend machen, wird erst in einem spätern §. geliefert; wir wollen uns hier auf die thatsächlichen Ergebnisse beschränken. Bringen wir die 22 Geschwindigkeitsrubriken der Tabelle I′ (mit Ausschluss des einen Falls der schnellsten Bewegung) in einige Hauptgruppen, so ergeben sich für die Geschwindigkeiten der einzelnen Zeitzehntel folgende Endwerthe, wobei die durchschnittliche Geschwindigkeit jedes Zeitzehntels = 10 gesetzt ist.

Tab. M'.

Extensionsbewegungen.

Dauer der Bewegung in Sekunden.	Während der einzelnen Zeitzehntel zurückgelegte Wege, der ganze Weg = 100 gesetzt.									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0,8—2	4,47	8,20	10,77	12,66	13,60	12,76	11,16	10,43	8,90	7,26
2—4	5,68	9,48	10,78	10,78	11,06	11,00	11,38	10,24	10,24	9,44
4—6	6,32	9,75	10,00	9,55	11,32	10,70	10,90	11,97	10,70	9,22
6—8	6,80	9,72	9,55	10,01	10,33	9,83	11,60	10,52	11,65	9,90
8—10	7,40	9,73	9,13	9,37	9,40	9,37	10,10	12,76	11,27	11,40
10—13	8,1	9,0	9,3	8,4	9,1	10,2	10,2	11,3	11,2	13,2
13—20	7,9	9,4	8,1	10,4	10,4	10,3	9,3	11,4	11,0	12,6

Das Geschwindigkeitsmaximum rückt somit bei abnehmender Geschwindigkeit immer mehr gegen das Ende der Bewegungszeit; es fällt, von der schnellsten Bewegung an gerechnet, der Reihe nach in das 5. — 7. — 8. — 9. — 8. — 10. und 10. Zeitzehntel. Desshalb ist die Hälfte des ganzen Weges in der Hälfte der Bewegungszeit noch nicht zurückgelegt. Je langsamer die Bewegung überhaupt ist, um so grösser wird verhältnissmässig die Geschwindigkeit in der zweiten Hälfte der Bewegungszeit; wird der durchlaufene Raum = 100 gesetzt, so betragen die in der ersten Hälfte der Bewegungszeit durchlaufenen Räume:

Tab. N'.

Dauer der Bewegung in Secunden.	In der ersten Zeithälfte durchlaufene Räume.
0,8—2	49,7 %
2—4	47,8
4—6	47,9
6—8	46,4
8—10	45,0
10—13	43,9
13—20	46,2

Die verhältnissmässigen Abweichungen, welche die einzelnen Zeitzehntel der ganzen Bewegungszeit von der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Mittel zeigen, nehmen von den schnellsten Extensionsbewegungen an allmälig ab, erreichen ein Minimum zwischen 6—8 Secunden Bewegungszeit (Secundengeschwindigkeit etwa 10 Millimeter) und steigen von da an wieder, wie folgende Tabelle zeigt.

Tab. O′.

Dauer der Bewegung in Secunden.	Mittlere Abweichung von der Durchschnittsgeschwindigkeit in den 10 Phasen der ganzen Bewegungszeit.
0,8—2	2,25 %
2—4	1,09
4—6	1,07
6—8	0,83
8—10	1,11
10—13	1,20
13—20	1,14

Demnach zeigt die Constanz der gleichmässig beabsichtigten Bewegung innerhalb der von uns geprüften Zeit- und Raumgrenzen bei verschiedenen Geschwindigkeiten Unterschiede, die fast das Dreifache betragen. Die Ermittelung des Antheils, den die Zeit- und Raumauffassung einerseits, und die, die Bewegung ausführende Muskelgruppe andererseits ausüben, muss künftigen Versuchen überlassen werden, in welchen, ausser der Zeit, auch der durchmessene Raum stark variirt und verschiedene Muskelgruppen zur Ausführung der Bewegungen benützt werden.

Die Flexionsbewegungen weichen in einigen Nebenpunkten von den Extensionsbewegungen ab. Die folgende Ta-

belle ist aus den Werthen der Tab. K′ in ähnlicher Weise angefertigt, wie die Tabelle M′ aus der ursprünglichen Tabelle I′.

Tab. P′.

Flexionsbewegungen.

Dauer der Bewegung in Secunden.	Während der einzelnen Zeitzehntel zurückgelegte Wege, der ganze Weg = 100 gesetzt.									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0,8—2	4,37	8,96	11,27	12,66	13,47	13,90	12,47	9,90	7,43	5,50
2—4	7,18	10,78	12,12	11,34	11,14	10,24	10,32	10,50	9,58	6,80
4—6	9,25	11,65	13,77	10,97	11,60	9,37	10,60	9,30	8,47	7,52
6—8	9,12	10,03	10,10	10,92	10,02	11,27	9,92	9,90	9,67	8,52
8—10	10,07	9,03	12,23	11,03	10,77	10,20	10,16	9,90	9,16	7,70
10—13	11,15	11,10	11,25	8,70	10,65	10,80	9,30	9,95	9,90	7,10
13—20	10,1	11,4	8,4	8,7	7,0	13,0	9,4	7,7	12,7	11,7

Die Flexionsbewegungen zeigen in 17 Versuchsreihen der Tabelle K′ während des letzten Zeitzehntels eine geringere Geschwindigkeit als während des ersten; bloss 7 Versuchsreihen bieten die umgekehrte Erscheinung und zwar in den verschiedensten Geschwindigkeitsrubriken. In Tabelle P′ ist nur in einer Geschwindigkeitsrubrik die Endgeschwindigkeit grösser als die Anfangsgeschwindigkeit.

Das Geschwindigkeitsmaximum zeigt in den Flexionsbewegungen viel geringere Verschiebungen als bei den Extensionsbewegungen, vielleicht auch den umgekehrten Gang, indem es bei langsameren Bewegungen eher gegen die Anfangszeit hin rückt. Es fällt, von der schnellsten Bewegung an gerechnet, der Reihe nach in das 6. — 4. — 3. — 6. — 3. — 3. — 6. Zeitzehntel.

Die Geschwindigkeit ist in der ersten Hälfte der Bewegungszeit entschieden schneller, als in der zweiten; während

sich die Extensionen umgekehrt verhalten, wie (mit bloss einer Ausnahme) folgende Tabelle zeigt.

Tab. Q'.

Dauer der Bewegung in Secunden.	In der ersten Zeithälfte durchlaufene Räume in % des ganzen Raumes.
0,8—2	50,7
2—4	52,6
4—6	57,2
6—8	50,2
8—10	53,1
10—13	52,8
13—20	45,6

Wie bei den Extensionsbewegungen, so nehmen auch hier die verhältnissmässigen Abweichungen, welche die einzelnen Zeitzehntel von der durchschnittlichen Geschwindigkeit zeigen, von den schnellsten Flexionen an allmälig (mit bloss einer, gewiss zufälligen Ausnahme) ab; erreichen ein Minimum ebenfalls zwischen 6—8 Secunden Bewegungszeit und steigen von da an wieder.

Tab. R'.

Dauer der Bewegung in Secunden.	Mittlere Abweichung von der Durchschnittsgeschwindigkeit in den 10 Zeitphasen der ganzen Bewegung.
0,8—2	2,76 %
2—4	1,29
4—6	1,46
6—8	0,62
8—10	0,86
10—13	0,94
13—20	1,77

Die Abweichungen sind im Ganzen etwas (ungefähr um $^1/_8$) grösser als in Tabelle O′.

Dr. Camerer hat den Verlauf von 3 sehr geschwinden Bewegungen in der Art gemessen, dass er von einem sehr kleinen Zeittheil zum anderen den zurückgelegten Weg bestimmte. Wegen der Messungsmethode verweise ich auf dessen Dissertation. $^1/_{20}$ Millimeter der Coordinatenwerthe konnte mit der Loupe noch gut bestimmt werden. Die auszumessenden Curven wurden der Reihe nach je um 1 Millimeter Abscissenlänge (Zeit) unter einem, auf ein Glas, senkrecht zur Abscisse gezogenen feinen Strich, mittelst einer Schraube bewegt und die zugehörigen Ordinatenwerthe (zurückgelegte Wege) bestimmt. Die in den 3 Versuchen zurückgelegten Wege betrugen 61,0 — 56,6 — 61,4 Millimeter; die ganze Bewegungsdauer ist in 105, 79 und 61,4 gleiche Theile getheilt.

Tab. S′.

Zeittheile.	Extension. Dauer 0,689″	Flexion. Dauer 0,34″	Flexion. Dauer 0,56″
1	0,3	0,2	0,2
2	0,7	0,4	0,4
3	0,8	0,5	0,6
4	1,0	0,7	0,8
5	1,2	0,9	1,2
6	1,3	1,3	1,7
7	1,6	1,5	2,5
8	1,8	1,8	3,2
9	2,0	2,1	4,4
10	2,4	2,3	5,4
11	2,8	2,7	6,2
12	3,0	3,0	7,2
13	3,5	3,5	8,6

Zeit-theile.	Extension. Dauer 0,689″	Flexion. Dauer 0,34″		Flexion. Dauer 0,56″
14	3,8	4,0		10,2
15	4,1	4,6		11,8
16	4,6	5,1		13,4
17	5,3	5,9		14,8
18	5,7	6,4		17,2
19	6,4	6,9		19,1
20	6,8	7,6		20,9
21	7,4	8,3		24,5
22	7,9	9,1		26,9
23	8,4	10,1		29,4
24	8,9	11,0		30,3
25	9,6	12,1		32,5
26	10,1	13,2		34,5
27	10,7	14,2		36,4
28	11,4	15,4		38,0
29	11,9	16,9		39,5
30	12,6	17,9		40,7
31	13,0	18,9		42,0
32	13,8	20,1		43,4
33	14,4	21,6		44,8
34	15,0	22,9		46,0
35	15,8	24,1		47,1
36	16,5	25,6		48,2
37	17,4	27,1		49,0
38	18,0	28,9		50,0
39	18,7	30,5		51,0
40	19,6	31,6	Verlust von 2mm Abscisse	51,8
41	20,6	31,6		52,6
42	21,0	33,3		53,5
43	21,7	34,5		54,1
44	22,5	35,6		54,6
45	23,5	36,9		55,4

Zeit-theile.	Extension. Dauer 0,689″	Flexion. Dauer 0,34″	Flexion. Dauer 0,56″
46	24,2	38,4	56,0
47	25,0	39,3	56,7
48	25,7	40,7	57,4
49	26,5	42,1	57,9
50	27,4	42,5	58,4
51	28,2	43,6	58,8
52	29,1	44,7	59,1
53	30,0	45,3	59,5
54	30,8	46,4	59,7
55	31,4	47,1	60,0
56	32,2	47,7	60,2
57	32,9	48,3	60,4
58	33,6	49,2	60,7
59	34,3	50,0	60,8
60	35,2	50,5	60,9
61	36,2	50,9	61,0
62	37,0	51,7	61,0
63	38,0	52,1	61,1
64	38,7	52,6	61,1
65	39,6	53,0	61,2
66	40,3	53,8	61,4
67	41,0	54,0	
68	41,7	54,6	
69	42,6	54,8	
70	43,3	55,1	
71	44,4	55,3	
72	45,3	55,4	
73	46,3	55,6	
74	47,2	55,8	
75	48,0	56,1	
76	48,7	56,2	
77	49,4	56,4	

Zeit-theile.	Extension. Dauer 0,686″	Flexion. Dauer 0,34″
78	50,2	56,5
79	51,1	56,6
80	52,0	
81	53,0	
82	53,6	
83	54,2	
84	54,7	
85	55,3	
86	55,8	
87	56,1	
88	56,5	
89	57,1	
90	57,5	
91	57,9	
92	58,2	
93	58,5	
94	58,9	
95	59,1	
96	59,2	
97	59,4	
98	59,7	
99	60,0	
100	60,2	
101	60,4	
102	60,6	
103	60,8	
104	60,9	
105	61,0	

Aus der ersten horizontalen Rubrik der Tabelle I′ (Bewegungszeit 0,689 Secunde) und den zwei ersten horizontalen Rubriken der Tabelle K′ (Bewegungszeit 0,34 und 0,56 Secunde)

ersieht man, dass der zeitliche Verlauf sehr schneller Bewegungen denjenigen der langsameren constanten Willkürbewegungen im Allgemeinen entspricht. Tabelle S′ lehrt die während der ganzen Bewegung von einem sehr kleinen Zeitraume zum andern durchlaufenen Räume kennen und zeigt, dass die Geschwindigkeit, welche nahezu constant bleibt, wenn man die jeweils nach grösseren Zeittheilen zurückgelegten Räume mit einander vergleicht, viel grössere Variationen innerhalb der einzelnen aufeinanderfolgenden kleinsten Zeittheilchen zeigt. Bei der schnellsten Extensionsbewegung (0,689 Secunde Dauer) betrugen die vom Anfang des vierten bis zum Ende des achten Zeitzehntels zurückgelegten Räume innerhalb der einzelnen Zeitzehntel 12,4 — 13,9 — 14,0 — 13,9 — 13,5 Procente des während der ganzen Bewegung durchmessenen Raumes (Siehe Tab. I′); die Geschwindigkeit ist also für Zeittheilchen 0,068 Secunde annähernd gleich. Tabelle S′ theilt die Zeitdauer dieses Versuchs in 105 gleiche Zeittheile von nur 0,00647 Secunde Dauer; 45 dieser Zeittheilchen fallen in die Phase der annähernd constanten Geschwindigkeit, d. h. ungefähr in das 4te bis 7te Zeitzehntel der ganzen Bewegung. Von einem unserer kleinsten (0,00647 Sec.) Zeiträume zu dem unmittelbar darauf folgenden variirt aber die Geschwindigkeit im Durchschnitt um nicht weniger als 18 Procent.

Fragen wir schliesslich nach den Zeitpunkten, von welchen an die mittlere Geschwindigkeit erreicht ist, oder von wo an dieselbe aufhört, so könnte man von verschiedenen Berechnungsweisen in der Tabelle S′ ausgehen; man könnte z. B. je 2 Zeittheilchen zusammenfassen, um vor Zufälligkeiten besser geschützt zu sein. Halten wir uns jedoch an die einzelnen Zeittheilchen und fragen, nach welcher Zeit von Anfang der Bewegung an, der erste Geschwindigkeitswerth vorkommt, der die durchschnittliche Geschwindigkeit aller Zeittheilchen er-

reicht, und in welchem Zeittheilchen derselbe mittlere Geschwindigkeitswerth aufhört, so erhalten wir folgende Ergebnisse.

Tab. T′.

	Extension.	Flexion.	Flexion.
Dauer der Bewegung in Secunden.	0,689″	0,34″	0,56″
Zurückgelegter Weg in Millimetern	61,0	56,6	61,4
Secundengeschwindigkeit in Millimetern	88,5	166,5	109,7
Absolute Dauer eines Zeittheilchens der Tabelle S′ in Secunden	0,00647	0,00430	0,00849
Während eines Zeittheilchens zurückgelegter Weg in Millimetern	0,58	0,716	0,915
Zeitpunkt nach Beginn der Bewegung, wo die mittlere Geschwindigkeit erreicht ist, in Secunden	0,1099	0,0731	0,0849
Zeitpunkt vor Aufhören der Bewegung, wo der letzte mittlere Geschwindigkeitswerth vorkommt, in Secunden	0,1099	0,0559	0,212

Je schneller die beabsichtigte constante Geschwindigkeit ist, um so früher wird der durchschnittliche Geschwindigkeitswerth erreicht und um so später hört derselbe wieder auf, ein Ergebniss, das beiläufig bemerkt, auch die Zustimmung des Teleologen finden wird. Beide Aufgaben, die Auslösung wie die Arretirung des Willensreizes verlangen also eine grössere Anstrengung bei schnelleren Bewegungen. Erwägungen, aus der allgemeinen Muskelphysiologie entnommen, würden — wenn ich mich nicht

täusche — ein entgegengesetztes Verhalten postuliren; ich muss mich vorerst auf die blosse Kenntnissnahme der Thatsache beschränken, denn die hier stattfindenden Gesetzmässigkeiten, die dem messenden Versuch offenbar zugänglich sind, sind nur mittelst einer grossen und breit angelegten Versuchsreihe zu ermitteln.

§. 22. Der zeitliche Verlauf der beschleunigten Willkürbewegung.

Diese Form ist nach den Erfahrungen Dr. Camerer's unter allen willkürlichen Bewegungen die regelmässigste und gehorcht einem merkwürdigen Gesetz. Bei der Ausführung der Versuche war bloss eine allmälige Geschwindigkeitszunahme beabsichtigt, die so lange dauern sollte, bis der Willensbefehl arretirend eingriff. Die Ueberschriften der nachfolgenden Tabelle sind analog denen der Tabellen I′ und K′.

Tab. U′.

	Dauer der Bewegung in Secunden.	Grösse der Bewegung in Millimetern.	Beschleunigte Bewegung. I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Zahl der Versuche.
Extension.	2—2,4	71,8	2,4	5,8	10,7	19,0	29,7	21,8	54,3	69,1	87,2	100	6
	2,4—2,8	73	1,8	4	9,3	16,3	25,5	36,4	49,3	66,7	87,8	100	18
	2,8—3,2	73,8	2,5	5,7	10,7	17,5	26,2	38,5	51,8	71,5	89,3	100	9
	3,2—4	74,7	2,6	6,3	12,6	19,9	30,2	43,8	60,1	76	89,5	100	9
	4—5	76,9	3	8,3	13,9	21,6	31,7	42,8	57,3	73,1	87,2	100	8
	5—7,4	76,4	5,1	11,1	18,8	28,0	38,2	47,9	61	72,5	88,9	100	4
Flexion.	2—2,4	76,1	2,9	6,6	12,2	19,7	26,4	36,3	49,2	66,6	85,4	100	13
	2,4—3,2	72,7	1,5	5	10,6	18,2	27,7	40,7	55,5	74,5	92,4	100	20
	3,2—4	75,5	2,1	6,3	11,8	19,7	26,8	39	53,9	71,2	88,1	100	8
	4—5	77,4	3,2	10,2	16,6	22,4	35,3	49	61,9	75,8	90	100	4
	5—7,4	75	1,1	8,4	13,9	20	28	38,7	50,6	65,6	87,3	100	5

Zunächst fällt bei der beschleunigten Bewegung auf, dass die während der ganzen Bewegung durchlaufenen Räume bei

den verschiedenen Geschwindigkeitscategorien sehr viel geringere Abweichungen unter sich zeigen, als bei den constant-beabsichtigten Bewegungen. Die Extensionen zeigen von einem Zeitzehntel zum andern eine immer grössere Geschwindigkeit, das Maximum fällt in der Regel in den 9ten Zeitraum. Die hemmende Wirkung des Willens erfolgt also sehr schnell. Bei langsamen beschleunigten Bewegungen (s. Bewegungszeit 5—7,4 Secunden) kommen Ausnahmen vor, die sowohl in der Natur der Versuchsbedingungen, als in der geringen Zahl von Einzelversuchen begründet sein können. Die Flexionsbewegungen zeigen dieselben Erscheinungen, doch sind sie (wie die constanten Flexionsbewegungen) etwas unregelmässiger als die Extensionen.

Fassen wir die schnellen Extensionsbewegungen (der Categorien 2 bis incl. 3,2 Secunden der Tabelle U') zusammen, so sind die durchlaufenen Wege (der ganze Weg = 1000 gesetzt) im Endmittel nach Ablauf der einzelnen Zeitzehntel der Reihe nach 22,3 — 52 — 102 — 176 — 271 — 389 — 518 — 691 — 881 — 1000.

Sehen wir vorerst ab vom ersten Zeitmoment, wo der Wille beginnt seinen Einfluss zu entfalten, und vom letzten, wo die Arretirung des Willens eingreift, so tritt uns schon auf den ersten Blick die merkwürdige Erscheinung entgegen, dass die Geschwindigkeiten in gleichen Zeitintervallen um gleichviel wachsen, d. h. die Geschwindigkeiten sind proportional der Zeit. Die Abweichungen der gefundenen Werthe von den berechneten sind geringer, als man bei solchen Versuchen, wo die »Willkür« eingreift und eingreifen soll, erwarten möchte.

Wir bezeichnen die von einer bestimmten Epoche ab gezählte Zeit mit t, so dass also z. B. die Zeit $t = 4$ denjenigen Augenblick repräsentirt, welcher auf jene Epoche nach 4 Zeiteinheiten folgt, während andererseits $t = -4$ einen Augen-

blick darstellt, welcher 4 Zeiteinheiten vor jener Epoche liegt *).

Ein Körper sei begriffen in geradliniger Bewegung. Auf seiner geradlinigen Bahn befinde sich an beliebig gewählter Stelle eine feste Marke. Die Entfernung x, welche der in Bewegung begriffene Körper zur Zeit t von dieser Marke hat, mag dargestellt sein durch

$$x = \alpha + t\beta + \frac{t^2}{2}\gamma,$$

wo α, β, γ irgend welche Zahlen vorstellen. Für die aufeinander folgenden Zeiten $t = -4$, $t = -3$, ... $t = +5$ wird die Entfernung x alsdann diejenigen Werthe besitzen, welche in Tab. W' II. angegeben sind.

Tabelle W'.

I.	II.	III.	IV.
t.	x.		
− 4	$\alpha - 4\beta + 16\frac{\gamma}{2}$		
		$\beta - 7\frac{\gamma}{2}$	
− 3	$\alpha - 3\beta + 9\frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta - 5\frac{\gamma}{2}$	
− 2	$\alpha - 2\beta + 4\frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta - 3\frac{\gamma}{2}$	
− 1	$\alpha - \beta + \frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta - \frac{\gamma}{2}$	
0	α		γ

*) Mein geehrter College, Hr. Professor Neumann hat das Gesetz der beschleunigten Willkürbewegungen in eine elegantere Form gebracht, als es mir möglich gewesen wäre.

I.	II.	III.	IV.
t.	x.		
		$\beta + \frac{\gamma}{2}$	
1	$\alpha + \beta + \frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta + 3\frac{\gamma}{2}$	
2	$\alpha + 2\beta + 4\frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta + 5\frac{\gamma}{2}$	
3	$\alpha + 3\beta + 9\frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta + 7\frac{\gamma}{2}$	
4	$\alpha + 4\beta + 16\frac{\gamma}{2}$		γ
		$\beta + 9\frac{\gamma}{2}$	
5	$\alpha + 5\beta + 25\frac{\gamma}{2}$		γ

Die Differenzen der in II angegebenen Entfernungen sind berechnet in Columne III. Die Zahlen dieser letzteren Columne repräsentiren demnach diejenigen Raumintervalle, welche der Körper in jedem einzelnen Zeittheil durchläuft. Sie zeigen zugleich, dass diese Intervalle von einem Zeittheil zum andern grösser werden, dass also die Bewegung eine beschleunigte ist.

Bildet man endlich von den in III angegebenen Intervallen nochmals die Differenzen, so erhält man die in Columne IV verzeichneten Zahlen. Diese Zahlen sind durchweg von gleicher Grösse, nämlich durchweg $= \gamma$. Sie zeigen also, dass die den Einzelzeiten entsprechenden Intervalle von einem Zeittheil zum andern immer um gleich viel zunehmen. Mit andern Worten: Sie zeigen, dass die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte ist; und überdiess, dass γ den Werth der constanten Beschleunigung darstellt.

Es soll nun die beobachtete Bewegung untersucht werden. Für diese sind die Entfernungen x verzeichnet in Tab. X′ Columne II.

Tab. X′.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
t.	x.			$\alpha = 176 \quad \beta = 84{,}5 \quad \gamma = 22{,}08$	ξ.	ξ—x.
—4	0			$176 - 4 \cdot (84{,}5) + 16 \cdot (11{,}04 =$	14,64	14,64
		22,3				
—3	22,3		7,4	$176 - 3 \cdot (-) + 9 \cdot (-) =$	21,86	—0,44
		29,7				
—2	52		20,3	$176 - 2 \cdot (-) + 4 \cdot (-) =$	51,16	—0,84
		50,0				
—1	102		24	$176 - 1 \cdot (-) + 1 \cdot (-) =$	102,54	0,54
		74				
0	176		21	$176 \quad =$	176	0
		95				
1	271		23	$176 + 1 \cdot (-) + 1 \cdot (-) =$	271,54	0,54
		118				
2	389		11	$176 + 2 \cdot (-) + 4 \cdot (-) =$	389,16	0,16
		129				
3	518		44	$176 + 3 \cdot (-) + 9 \cdot (-) =$	528,86	10,86
		173				
4	691		17	$176 + 4 \cdot (-) + 16 \quad (-) =$	690,64	—0,36
		190				
5	881			$176 + 5 \cdot (84{,}5) + 25 \quad (11{,}04) =$	874,50	—6,50

Die Columnen III und IV repräsentiren wieder die erste und zweite Differenzen-Reihe. Es sind also wiederum durch III die den Einzelzeiten entsprechenden Raum-Intervalle, und durch IV die Zunahmen dieser Raum-Intervalle d. i. die Beschleunigungen dargestellt.

Für den mittleren Verlauf der Bewegung haben die Beschleunigungen IV die Werthe: 20,3 24 21 23, also Werthe, die nahezu einander gleich sind. Daraus folgt, dass die beobachtete Bewegung, was ihren mittleren Verlauf anbelangt, nahezu eine gleichförmig beschleunigte ist.

Wir betrachten die geringen Unterschiede der genannten Zahlen 20,3 24 21 23 als Beobachtungsfehler, und ersetzen diese vier Zahlen durch ihr arithmetisches Mittel 22,08. Die

beobachtete Bewegung ist dann in ihrem mittleren Verlaufe als eine gleichförmig beschleunigte anzusehen, deren constante Beschleunigung $\gamma = 22{,}08$ ist.

Die beiden andern Constanten α und β ergeben sich für diese Bewegung leicht durch Vergleichung der Tabellen X′ und W′. Durch Vergleichung der Columnen II folgt zunächst $\alpha = 176$. Sodann ergibt sich durch Vergleichung der Columnen III:

$$\beta - \frac{\gamma}{2} = 74,$$

und gleichzeitig: $\beta + \frac{\gamma}{2} = 95.$

Hieraus folgt durch Addition:

$$2\beta = 169,$$

mithin $\beta = 84{,}5.$

Wir berechnen nunmehr, mit Zugrundelegung der eben gefundenen Constanten α, β, γ, diejenigen Werthe, welche die Entfernungen x besitzen müssten, wenn die beobachtete Bewegung in voller Strenge eine gleichförmig beschleunigte sein sollte. Diese Rechnung ist ausgeführt in Tab. X′. Columne V.

Bezeichnen wir endlich die in Columne V berechneten Entfernungen mit ξ, die beobachteten Entfernungen hingegen nach wie vor mit x, so ergeben sich für die Differenzen $\xi - x$ die in Tab. X′ Columne VI aufgeführten Werthe.

Diese Differenzen VI sind sehr klein für den mittleren Verlauf der Bewegung, beträchtlich aber für den Anfang und das Ende derselben. Sie zeigen also von Neuem, dass die beobachtete Bewegung in ihrem mittleren Verlauf als eine gleichförmig beschleunigte angesehen werden kann.

Die für unsere Frage so wichtige Anfangs- und Endzeit muss mit Hülfe eines schnell rotirenden Kymographions, welches sehr kleine Zeittheilchen zu messen gestattet, untersucht werden.

Unsere vorliegenden Erfahrungen gestatten die Erörterung dieser Frage nicht. Im ersten und letzten Zeitzehntel gehorcht die als beschleunigt beabsichtigte Bewegung jedenfalls einem andern Gesetz; die Bewegung leistet nämlich in der Anfangszeit zu viel.

§. 23. Die willkürlich verzögerte Bewegung in ihrem zeitlichen Verlauf.

In der nachfolgenden Tabelle ist die zunächst beabsichtigte Geschwindigkeit, die sodann allmälig verzögert werden soll, bei den langsameren Bewegungen schon am Ende des ersten Zeitzehntels ungefähr erreicht; bei den schnelleren Bewegungen ist dieses erst etwa am Ende des zweiten, oder Anfang des dritten Zeitzehntels möglich.

Die Erfahrungen Dr. Camerer's zeigen, dass der Wille im Anfang der Verzögerung zu viel thut, die Verzögerung geschieht anfangs sehr rasch, sodass für die folgenden Zeitmomente nicht mehr viel übrig bleibt und die Bewegung in den letzten Zeitzehnteln nur sehr wenig und nicht regelmässig abnimmt, d. h. nahezu als constant zu betrachten ist. Die nachfolgende Uebersicht ist analog den Tabellen I′—K′ und U′ angelegt.

Tabelle Y′.

	Dauer der Bewegung in Secunden.	Grösse der Bewegung in Millimetern.	Verzögerte Bewegung.										Zahl der Versuche.
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Extension.	2,4—3,2	70,7	26,6	55,7	66,5	73,1	78,8	83,3	88,3	92,5	96,5	100	6
	3,2—4	70,4	15,8	49,4	61,6	68,7	74,7	81,5	86,8	91,6	96,2	100	11
	4—5	70,6	31,7	52,3	61,3	67,1	73,7	78,7	84	89,5	95,7	100	16
	5—6	72,1	32,2	48,8	57,7	65,7	73,2	79	84,2	89,7	95,3	100	7
Flexion.	2,4—3,2	69,2	25,7	59,5	69,2	77,6	82,8	87,3	90,9	94,1	96,8	100	6
	3,2—4	66,5	38,6	57,3	67,1	72,9	78,3	83,8	88,3	92,3	96,7	100	8
	4—5	73,4	32,4	55,6	64,3	71,3	77,2	81,7	86,1	91	95,4	100	9
	6—15,3	70,4	34,1	47,4	56,4	64,5	70,9	76,6	82,4	88,3	94,6	100	9

Die verzögerte Willensbewegung ist ein im hohen Grade erzwungener Zustand; gleichwohl dürften zahlreiche Versuche, bei welchen der Beginn der Verzögerung nach erreichter constanter Geschwindigkeit durch eine passende Vorrichtung auf das Kymographion notirt würde, eine Annäherung an eine Gesetzmässigkeit erwarten lassen. Die verhältnissmässig besten Ergebnisse erhalten wir aus den 2,4—3,2 Secunden dauernden Versuchen. Summiren wir die Werthe der Extensions- und Flexionsbewegungen, und berechnen die zurückgelegten Räume in jedem Zeitzehntel, so erhalten wir — den ganzen Raum = 2000 gesetzt — für die einzelnen Zeitzehntel 523 — 629 — 205 — 150 — 109 — 100 — 86 — 74 — 67 — 67. Die Verzögerung beginnt hier wohl mit Anfang des 3ten Zeitzehntels.

§. 24. Der constante Fehler in den Zeitempfindungen.

Unsere Zeitempfindungen sind einem constanten Fehler unterworfen, der sich in sämmtlichen Sinnesgebieten ohne Ausnahme geltend macht. Kleine Zeiten empfinden wir durchschnittlich grösser, grössere dagegen kleiner, als sie wirklich sind. Zwischen dem Bereich des positiven und des negativen Fehlers liegt ein Punkt der Indifferenz, d. h. eine Zeitgrösse, die wir weder vergrössert noch verkleinert empfinden.

Der Punkt der Indifferenz ist jedoch kein feststehender; er variirt in verschiedenen Individuen, sowie bei demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten; er hängt ausserdem von durch die Versuchsbedingungen gegebenen Nebenumständen ab, sowie auch von dem in Anspruch genommenen Sinnesgebiete.

Was individuelle Einflüsse betrifft, so stehen mir nur 3 vollständig mit einander vergleichbare Versuchsreihen zu Gebot, in welchen die gehörte Zeit nach einer kleinen Pause auf das Kymographion verzeichnet wurde. Der Punkt der Indifferenz

liegt Tab. D (Versuchsperson N) bei 1,5; Tabelle E (Vers.pers. H) bei 1,4; und Tabelle E (Vers.pers. V) zwischen 3 — 3,5 Secunden.

Bei Versuchsperson N liegt der Indifferenzpunkt in jedem der 4 einzelnen Versuchstage (s. Tabelle C) bei 1,3 — 1,7 — 1,6 und 1,2 Secunden.

Auch scheinen die verschiedenen Sinnesgebiete von Einfluss auf den constanten Fehler überhaupt und die Lage des Indifferenzpunktes insbesondere zu sein. Bei mir fällt der Indifferenzpunkt der durch das Getast wahrgenommenen Zeit zwischen 2,2 — 2,5, bei der gehörten Zeit zwischen 3 — 3,5 Secunden, vorausgesetzt, dass zwischen Empfindung und Wiederholung der Empfindung ein kleines Zeitintervall liegt. Ich darf hieher auch die Versuche rechnen, in denen ich eine durch kurze Handbewegungen markirte Zeit ebenfalls nach einer kleinen Pause wiederholte; der Indifferenzpunkt lag hier bei 4,9 Secunden, also viel weiter zurück. Diese drei Versuchsreihen sind freilich nicht in derselben Zeitperiode angestellt worden; doch sind die Unterschiede, die sie bieten, so gross, dass dieselben wohl nicht ausschliesslich auf diesen ihre strenge Vergleichbarkeit störenden Umstand zurückgeführt werden können.

Einen entschiedenen Einfluss übt die Zeit aus, nach welcher die gehabte Empfindung wiederholt wird. Liegt zwischen der Empfindung und ihrer Reproduction ein, auch nur kleiner, Zwischenraum, so nimmt der Indifferenzpunkt einen höheren Zeitwerth an. Für die gehörte Zeit liegt mein Indifferenzpunkt zwischen 3 — 3,5 Secunden, wenn die Empfindung nicht alsbald wiederholt wird; dagegen zwischen 2¼ — 3 Secunden, wenn kein Intervall eingeschoben wird. Markirte ich durch zwei momentane Handbewegungen eine vorgestellte Zeit, so war die ohne Zeitintervall wiederholte Zeit der zuerst angegebenen gleich zwischen 1,8 — 3,5 (Mittel etwa 2,6) Secunden; die eingescho-

bene kleine Pause verlängerte den Indifferenzpunkt auf 4,9 Secunden.

Vom Indifferenzpunkt aus nach abwärts findet eine subjective Vergrösserung der Zeit statt und zwar nimmt dieselbe mit Abnahme der objectiven Zeit verhältnissmässig immer mehr zu; $^1/_2$ Secunde kann um $^1/_6$ bis $^1/_4$ vergrössert werden. Mit Zunahme der objectiven Zeit dagegen nimmt die entsprechende Empfindung verhältnissmässig immer mehr ab und zwar um $^1/_6$ bis selbst $^1/_3$. Diese subjective Verkleinerung fällt jedoch in Zeiten, die nicht mehr dem Gebiete der eigentlichen Empfindung, sondern der überlegten Wahrnehmung angehören. Die Erfahrungen der Tabelle H, §. 13, deren obere Grenze den Zeitwerth von 1 Minute übersteigt, sprechen wohl dafür, dass mit weiterer Zunahme der objectiven Zeit unsere Auffassung von Zeitgrössen nur noch eine geringe Minderung erfährt.

Wenn ich relativ grössere Zeiträume, z. B. durchlebte Viertel- und halbe Stunden in absolutem Werthe, z. B. in entsprechenden Minutenzahlen auszudrücken versuche, so gebe ich wiederum die kleineren Zeiträume etwas grösser, die grösseren kleiner an (s. Tab. G′ in §. 19). Dasselbe ist aber auch, wie die gewöhnliche Erfahrung lehrt, bei sehr grossen Zeiträumen der Fall; ein eben durchlebter Monat scheint uns verhältnissmässig länger als ein noch grösserer Zeitraum, den wir etwa mit zwei für uns bemerkungswerthen Ereignissen fester zu begrenzen versuchen. Daraus geht für alle Categorien unserer zeitlichen Empfindungen und Wahrnehmungen als allgemeines Gesetz hervor: das relativ Kleine innerhalb desselben Auffassungsgebietes wird vergrössert, das relativ Grosse dagegen verkleinert.

Je kleiner die absolute Zeit ist, in welche der Indifferenzpunkt fällt, um so rascher steigt die subjective Vergrösserung mit der Abnahme der objectiven Zeit, wie die Erfahrungen der Tabellen D und E, gegenüber den Tabellen B, G, I, beweisen.

Die verschiedenen Zeitrubriken meiner Versuchsreihen schliessen keine genügende Zahl von Einzelversuchen ein, um den Gang der Curve mit zunehmender objectiver Zeit mit Genauigkeit festzustellen; gleichwohl lässt sich aus derselben erkennen, dass im Ganzen und Grossen die subjective Vergrösserung der kleinen (bis herab zu $^1/_3$ Secunde), und die subjective Minderung der grossen Zeit sich annähernd proportional verhält der Zu- resp. Abnahme der objectiven Zeit. Tragt man die wachsenden Zeitgrössen auf eine Abscissenlinie, verzeichnet die procentigen Vergrösserungen als Ordinaten oberhalb, die procentigen Minderungen als Ordinaten unterhalb der Abscisse und zieht die entsprechenden beiden Curven, so weichen dieselben in der Regel nicht allzusehr ab von einer von den beiden Curvenenden aus durch den Indifferenzpunkt gelegten geraden Linie: die Werthe der Tabelle D zeigen diesen Verlauf in sehr regelmässiger, bei der verhältnissmässig geringen Zahl von Einzelerfahrungen fast auffallenden Weise.

Liegt zwischen der empfundenen und der reproducirten Zeit eine Pause, so ist die subjective Vergrösserung der kleinen, und die subjective Minderung der grossen Zeit entschieden stärker als in den Versuchsreihen, in welchen die gehabte Empfindung sogleich wiederholt wurde.

§. 25. Der constante Fehler in der Wahrnehmung der Geschwindigkeiten.

Nennen wir r das Verhältniss des durchlaufenen Raumes zur Längeneinheit, z das Verhältniss der dazu nöthigen Zeit zur Zeiteinheit, so ist die Geschwindigkeit $g = \frac{r}{z}$. Die tägliche Erfahrung zeigt, dass die der objectiven Geschwindigkeit zu Grunde liegenden Bestimmungsglieder auch bei unseren Geschwindigkeitswahrnehmungen massgebend sind. Bei der Wahr-

nehmung der Bewegung und der Schätzung der Geschwindigkeit, mit welcher dieselbe erfolgt, werden Zeit- und Raumsinn zugleich in Anspruch genommen; wir messen den Weg, den der bewegte Körper zurücklegt und die Zeit, die er dazu braucht. Dabei ist aber keineswegs erforderlich, dass diese Operationen, jede für sich, deutlich in's Bewusstsein fallen; sie gehen im Gegentheil meistens so leicht und gewohnheitsgemäss von Statten, dass die Bewegung der Gegenstände und die Raschheit, mit der dieselbe erfolgt, so zu sagen unmittelbar in unsere Empfindung fallen. Wir können desshalb von Geschwindigkeitsempfindungen mit demselben Rechte reden, wie von Zeit- und Raumgrössenempfindungen.

Die Physiologie hat nun die Aufgabe, die Fehler zu ermitteln, welchen unsere Geschwindigkeitsempfindungen unterworfen sind, d. h. die Abweichungen eben dieser Empfindungen und Wahrnehmungen von der Maassformel der objectiven Geschwindigkeit. Dabei wäre sowohl r bei constantem ε, als ε bei constantem r vielfach zu variiren; dasselbe g also mit verschiedensten r- und ε-Werthen einzuführen; die Unterscheidungsempfindlichkeit für die einzelnen g festzustellen und zwar nicht bloss in den beiden, mit Raumsinn begabten Sinnesorganen überhaupt, sondern auch in einer Anzahl solcher Einzelbezirke dieser Organe, die grosse Verschiedenheiten der Feinheit des Raumsinnes bieten.

Diese umfassenden, zum Theil auch technisch schwierigen Aufgaben würden die Kräfte eines Einzelnen auf lange Zeit hinreichend beschäftigen, ich musste mich desshalb auf einen Specialfall beschränken, wobei ich bei constantem r (= 20 Millimeter), ε innerhalb der Grenze von 0,18 bis 3,9 Secunden variabel machen konnte.

Nach den in §. 20 niedergelegten Erfahrungen werden langsame, mit dem Auge wahrgenommene Bewegungen schneller

reproducirt, also auch empfunden; schnellere Bewegungen dagegen langsamer, als sie wirklich sind. Die verhältnissmässige Verlangsamung resp. Beschleunigung der Empfindung nimmt um so mehr zu, je schneller resp. langsamer die Bewegung erfolgt; dabei wächst aber die Verlangsamung der Empfindung bei zunehmender Geschwindigkeit viel rascher als die Beschleunigung der Empfindung bei abnehmender Geschwindigkeit. Bei 23 Millimeter Secundengeschwindigkeit (0,8 Secunde Bewegungszeit) liegt der Punkt der Indifferenz, wo die empfundene Geschwindigkeit von der objectiven nicht abweicht.

Diese Ergebnisse erklären sich ungezwungen aus dem, den Zeitempfindungen anhaftenden constanten Fehler. Schnelle Bewegungen durch einen kleinen Raum (20 Millimeter bei meinen Versuchen) erfordern nur kleine Zeiten; kleine Zeiten vergrössern wir aber subjectiv bedeutend. Die Geschwindigkeitsempfindung muss demnach eine Minderung erfahren. Die Erklärung der Zunahme der Geschwindigkeitsempfindung bei langsamer Bewegung ergiebt sich demnach von selbst.

Bleibt der Raum constant, so misst unsere Empfindung in der That nichts Anderes, als die zur Bewegung verwendete Zeit. Wenn Zeit und Raum in gleichem Verhältniss wachsen, die Geschwindigkeit also dieselbe bleibt, so wird unsere Geschwindigkeitswahrnehmung nicht wesentlich abgeändert. Zu diesem Ausspruch berechtigen die Erfahrungen des täglichen Lebens und die Ueberlegung, dass wir vollständig desorientirt wären auf dem Gebiete der Bewegungswahrnehmungen, wenn es sich anders verhielte. Gleichwohl ist zu erwarten, dass die Empfindung des g nach einem bestimmten Gesetz sich etwas abändern werde, wenn r und z in gleichem Verhältniss wachsen, und es sind direkte Versuche über diese, für den Zeitsinn so wichtige Frage dringend zu wünschen. Solchen gehörig variirten Versuchsbedingungen scheint nun auf den ersten Blick die oben gegebene Erklärung

der Geschwindigkeitsempfindung nicht zu genügen; wenn unsere Zeitempfindungen und Wahrnehmungen mit zunehmender Zeit eine zunehmende verhältnissmässige Verkleinerung erfahren, so wäre zu erwarten — und in geringem Grade wird das voraussichtlich der Fall sein — dass eine während einer bestimmten Zeit beobachtete gleichmässige Geschwindigkeit uns zunehmend beschleunigt erscheinen müsste. Der Widerspruch löst sich aber, wenn man in Betracht zieht, dass unsere Geschwindigkeitsempfindungen sich während einer längern Beobachtungszeit beständig wiederholen; wir nehmen schliesslich die Zeit nicht als Ganzes wahr, sondern fraktioniren dieselbe, sodass die Geschwindigkeitsempfindung und der ihr anhaftende constante Fehler in den einzelnen Zeittheilen ungefähr gleich bleiben. Nur bei einer kleineren Beobachtungszeit, die uns eine förmliche Zeitempfindung verschafft, findet eine Zerlegung der Zeit nicht statt.

Der Indifferenzpunkt, wo die reproducirte Geschwindigkeit der objectiven gleich ist, fällt in meinen Versuchen auf einen viel kleineren Zeitwerth (0,8 Secunden) als bei den übrigen Sinnen. Während ich die durch Gehör oder Getast wahrgenommene Zeitgrösse von 1—2 Secunden immer noch vergrössert empfinde, findet hier schon eine Verkleinerung statt; diese „gesehene“ Zeit wird also kleiner empfunden als die gehörte und getastete. Da jedoch der Indifferenzpunkt möglicherweis etwas verschoben werden kann, wenn r und z bei gleichem g variirt werden und die getastete, resp. gehörte Zeit bloss von zweien momentanen Empfindungen begrenzt war, während es sich bei den Geschwindigkeiten um anhaltende Empfindungen handelte, so sind noch weitere Erfahrungen nöthig, um das abweichende Verhalten des Zeitsinns des Auges richtig würdigen zu können.

§. 26. Täuschungen des Tastsinnes in der Auffassung von Geschwindigkeiten.

Werden zwei von einander hinreichend entfernte Punkte der Haut berührt, so haben wir in den mit feinerem Raumsinn begabten Bezirken nicht bloss eine deutlichere Empfindung eines Zwischenraumes zwischen beiden Berührungspunkten, sondern es ist dieser Zwischenraum auch scheinbar grösser als an Hautstellen, die minder fein tasten. Besonders auffallend tritt diese, von E. H. Weber mit gewohntem Scharfsinn (Sitzungsber. der Leipz. Gesellsch. Math.-phys. Classe. 1852. S. 93) untersuchte Täuschung dann ein, wenn wir die Spitzen eines geöffneten Zirkels über eine grössere Hautstrecke führen, der Abstand der Zirkelspitzen nimmt scheinbar immer mehr zu, wenn man der Reihe nach auf zunehmend feiner tastende Bezirke übergeht, während im umgekehrten Fall, z. B. in der Richtung von der Oberlippe gegen das Ohr, die beiden Spitzen sich immer mehr zu nähern scheinen und schliesslich selbst zu einem einzigen Eindrucke verschmelzen können.

Die Täuschung wächst mit zunehmender Geschwindigkeit der Zirkelspitzen; der Einfluss des Zeitsinnes ist also unverkennbar und muss nothwendig mitberücksichtigt werden. E. H. Weber hat bei diesen Versuchen bloss den räumlichen Empfindungsinhalt beachtet und in der That sind die Versuchsbedingungen derartig, dass die Auffassung der, zudem scheinbar variirenden, Zirkelspitzenabstände die gleichzeitige Berücksichtigung der Geschwindigkeit, mit der der Zirkel bewegt wird, etwas beeinträchtigt. Gleichwohl kann man auch beim Weberschen Versuch leicht bemerken, dass die Geschwindigkeit beim Uebergang in Regionen zunehmend feinern Raumsinnes scheinbar zunimmt, obschon die Zirkelspitzen mit constanter Geschwindigkeit bewegt werden.

Czermak, in einer sonst ausschliesslich theoretischen Abhandlung „Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn", (Sitzungsber. der Wiener Akad. Math.-nat. Cl. Band 24. S. 231) giebt an, dass der Secundenzeiger der Taschenuhr von ihm und den Meisten, die er zur Anstellung dieser Beobachtung aufforderte, beim direkten Sehen rascher bewegt erschien, als beim indirekten; auch deutet er, ohne jedoch Beobachtungen beizubringen, die Möglichkeit an, dass dieselbe Geschwindigkeit auf feiner tastenden Hautstellen grösser empfunden werde als auf minder bevorzugten Tastbezirken.

Nehmen wir an, die beiden Zirkelspitzen würden von den Punkten *a* und *a'* eines gröber tastenden Bezirkes über zunehmend feiner tastende Stellen in der Richtung nach *e* und *e'* bewegt.

a *b* *c* *d* *e*
a' *b'* *c'* *d'* *e'*

Es wird hierbei nicht bloss die zur Bewegungsrichtung rechtwinklige Distanz *aa'* kleiner als die gleichgrosse Distanz *ee'* empfunden, sondern es erscheint (auch bei ruhenden Zirkelspitzen) Zwischenraum *ab (a'b')* kleiner als der eben so grosse Zwischenraum *de (d'e')*. Werden nun die Strecken *a—b, b—c* ... *d—e* mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen, so muss die scheinbare Geschwindigkeit zwischen *d* und *e* am grössten sein, weil diese Distanz für die längste gehalten wird.

Bewege ich mit einer gewissen, constanten Geschwindigkeit die Spitze eines Stäbchens über eine grössere Hautstrecke, z. B. von der Handwurzel gegen die Fingerspitze, so erscheint mir die Geschwindigkeit vollkommen constant, wenn ich die berührten Hautstellen sehe; bei abgewandtem Blick habe ich aber auf das Deutlichste die Empfindung zunehmend grösserer Geschwindigkeit. Nicht so deutlich, doch immer noch gut erkennbar, ist die scheinbare Geschwindigkeitsabnahme bei der Bewegung

in entgegengesetzter Richtung. Viel stärker tritt die Täuschung hervor, wenn man sehr lange Hautstrecken wählt, z. B. von der Schulter bis zur Fingerspitze, und sollte Jeder, der die Versuche wiederholt, mit möglichst langen Strecken beginnen. Nach kurzer Uebung gelingt der Versuch schon an der dritten Fingerphalanx allein. Es ist vollkommen gleichgültig, ob ich die gleichmässige Bewegung selbst mache, oder von Andern ausführen lasse; die Tastempfindung wird also nicht berichtigt durch das Bewusstwerden der ausgeführten Willensbewegung. Die Geschwindigkeitsempfindungen auf der Haut sind so deutlich, dass sie sich sehr wohl zur Anstellung messender Versuche, die in hohem Grad wünschenswerth erscheinen, verwenden liessen. —

Berührt man zwei Stellen eines Fingers mit den Spitzen des geöffneten Zirkels, so erscheint der Zwischenraum entschieden grösser, als wenn man eine Zirkelspitze durch dieselbe Distanz längs der Haut fortbewegt. Fechner, der meines Wissens zuerst auf dieses „seltsame Resultat“ aufmerksam gemacht hat (Psychophysik II. S. 331), bemerkt übrigens, dass unter 34 von ihm desshalb geprüften Personen der Unterschied von 17 wahrgenommen wurde, während Einer einen Unterschied im entgegengesetzten Sinn, die Uebrigen dagegen keinen Unterschied angaben. Volkmann giebt (bei Fechner, a. a. O. S. 333) an: „Ich empfinde die Zirkeldistanz wirklich grösser, als die gestrichene Hautstelle von gleicher Ausdehnung. Der Unterschied ist gar nicht weit vom Duplum entfernt. Ob die Geschwindigkeit des Streichens einen Einfluss habe, will ich nicht mit Bestimmtheit behaupten; doch scheint es mir so. Es kommt mir nämlich vor, als ob schnelles Streichen den Unterschied steigere, oder mit andern Worten, dass bei langsamem Streichen die in Vergleich gestellten Dimensionen sich ziemlich gleich gross ausnehmen.“

Zur Erklärung der Täuschung nimmt Fechner an, dass von successiv getroffenen Hautstellen $a—b—c \ldots k$ entweder jede für sich eine distinkte Empfindung verschafft, oder je zwei benachbarte Hautstellen zu einer Empfindung sich vereinigen. Im ersteren würde die, sit venia verbo, bewegte Distanz ebensogross als die ruhende empfunden, im zweiten würde sie verkleinert. Die bei einer Versuchsperson beobachtete Vergrösserung der bewegten Distanz ist freilich auf diese Weise nicht erklärbar, wie denn überhaupt Fechner von dieser seiner Erklärung selbst nicht befriedigt, „offen gesteht, dass er eine sichere Erklärung für diese Verhältnisse nicht habe."

Auch für mich ist der Unterschied der bewegten und der ruhenden Distanz ein bedeutender, ohne dass jedoch die erstere immer mit einer Verkleinerung verbunden ist. Je schneller die Bewegung geschieht, um so kürzer empfinde ich die Distanz; bei geringerer Geschwindigkeit erhalte ich keinen Unterschied, wogegen bei noch grösserer Verlangsamung die bewegte Distanz sogar grösser erscheint als die ruhende. Einige, in der Anstellung von physiologischen Versuchen etwas geübte Studierende, die namentlich auch Beobachtungen über das Unterscheidungsvermögen für Farbentöne und Lichtstärken angestellt hatten, empfanden — ohne von der Täuschung etwas gewusst zu haben — beim ersten Versuch die bewegte Distanz entschieden kleiner als die ruhende.

Diese so verschiedenen Erfolge erklären sich nach meiner Ansicht ungezwungen aus dem constanten Fehler, der unseren Zeitempfindungen anhaftet. Kleine Zeiten werden von uns grösser empfunden als sie wirklich sind. Diese scheinbare Vergrösserung zwingt uns unmittelbar zur Annahme einer geringeren Geschwindigkeit; die Vorstellung der geringeren Geschwindigkeit verkleinert aber den durchlaufenen Raum. Dabei ist die Geschwindigkeit offenbar das Dominirende in der ganzen

Empfindung; sie ist überhaupt — möchte ich sagen — unter den gegebenen Versuchsbedingungen das einzig direkt Sinnliche, das unmittelbar in unsere Empfindung fällt. Desshalb kann auch die Zeitempfindung nicht corrigirt werden durch eine etwaige exactere Raumempfindung. Die zunehmende scheinbare Verkleinerung der bewegten Distanz mit zunehmender objectiver Geschwindigkeit des Tastobjects findet ihre Erklärung darin, dass unsere subjective Vergrösserung kleiner Zeiten verhältnissmässig immer grösser wird, je kleiner die objective Zeit selbst ist.

Wird die Zeit von uns ebensogross wahrgenommen, als sie wirklich ist — dieses ist, je nach individuellen Verhältnissen, zwischen 1 bis selbst 3 Secunden in der That der Fall — so fällt der Widerspruch zwischen der Geschwindigkeits- und der blossen Raumempfindung weg; die bewegte Distanz empfinden wir nunmehr so gross wie die ruhende.

Grössere Zeiten werden von uns unter allen Umständen subjectiv verkleinert; wir haben also die Täuschung, dass der Weg über die berührte Hautstrecke in kürzerer Zeit zurückgelegt wird, als das in Wirklichkeit der Fall ist; wir vergrössern demnach die Geschwindigkeit und entsprechend die durchlaufene Distanz. Wenn ich z. B. den Weg über die beiden letzten Fingerglieder in 3—4 Secunden zurücklege, so erscheint mir die Distanz entschieden grösser. Dabei habe ich hinlänglich Zeit, um der Empfindung alle erforderliche Aufmerksamkeit zu schenken; gleichwohl ist auch jetzt der Raumsinn nicht im Stande, die Empfindung des Zeitsinnes zu corrigiren, sodass auch in diesem Fall die Geschwindigkeitsempfindung als das einzige direkt in die Sinnlichkeit Fallende betrachtet werden kann.

Ich will nicht unterlassen zu bemerken, dass vergleichende Messungen über die empfundene Grösse der ruhenden und der bewegten Distanz sich sehr leicht, nach den Methoden entweder

der richtigen und falschen Fälle oder der eben merklichen Unterschiede, bei gleichzeitiger Benützung des Kymographions ausführen liessen; Versuche der Art könnten allein entscheiden, ob neben der von mir zur Erklärung hervorgehobenen Ursache noch andere Bestimmungsmomente bei diesen Täuschungen von Einfluss sind.

§. 27. Die scheinbare Verzerrung bewegter Gegenstände.

In Bewegung befindliche Körper sehen wir nur unter bestimmten Bedingungen in ihrer wirklichen Form; mit zunehmender Geschwindigkeit erblicken wir sie scheinbar verkürzt in der Richtung der Bewegung, mit abnehmender Geschwindigkeit dagegen erscheinen sie uns breiter als sie wirklich sind. Einen schnell fahrenden Eisenbahnzug halten wir in unmittelbarer Nähe für viel kürzer als er wirklich ist; bei einer langen Reihe von Wagen, von hintereinander marschirenden Menschen u. s. w. überschätzen wir die Länge der Reihe. Auch kleinere Gegenstände, z. B. ein in der deutlichen Sehweite betrachtetes Bleistift, erscheinen uns, wenn sie schnell vorbei bewegt werden, etwas verkürzt.

Sehr viel deutlicher tritt diese Täuschung hervor, wenn der Gegenstand hinter einem ruhenden, am Besten schmalen Spalt vorbeigeführt wird. Zöllner, dem wir die genauere Analyse verschiedener optischer Täuschungen verdanken, ist meines Wissens der Erste, welcher auf die in Rede stehende Täuschung näher eingieng („Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder", Poggendorff's Annalen der Physik 1862. Bd. 117. S. 477).

Wird eine zur Spaltrichtung senkrechte Linie hinter dem Spalt bewegt, so erscheint sie je nach Umständen verkürzt oder verlängert; eine Reihe gleich weit von einander abstehender

Punkte rücken einander näher oder entfernen sich mehr von einander, als der Wirklichkeit entspricht; flächenhafte Gegenstände werden verzerrt in der Richtung der Bewegung, ein Kreis wird zur Ellipse, deren kleine Axe in die Bewegungsrichtung fällt oder, bei langsamer Bewegung, zu derselben senkrecht steht; ein Quadrat verändert sich zum Rechteck u. s. w.

In seiner Erklärung der Täuschung folgt Zöllner im Allgemeinen einer, ihm von Helmholtz vorgeschlagenen Auffassung, dass wir während des Vorbeiganges des Objectes Bewegungen des Augapfels vollführen, die in gleicher Richtung, jedoch langsamer wie die bewegte Figur, erfolgen sollen. „Dadurch entstehen", sagt Helmholtz (Physiologische Optik, S. 605), „nach einander auf den verschiedenen Streifen der Netzhaut, auf denen der Spalt während dieser Bewegung sich abbildet, Eindrücke von dem gerade vorliegenden Stücke des Objectes, gerade wie bei dem Anorthoscop, nur dass bei diesem der Spalt selbst bewegt, das Auge ruhig ist, während hier das Auge bewegt ist und der Spalt stillsteht."

Es würden also der Reihe nach verschiedene Netzhautstellen von den entsprechenden hinter dem Spalt vorbeibewegten Abschnitten der Figur getroffen, das Netzhautbild aber in der Richtung der Bewegung eine gewisse Verschmälerung erfahren. Die Grösse der Verkürzung müsste im umgekehrten Verhältniss zu der supponirten Augenbewegung stehen.

Direkte Beweise, dass Augenbewegungen in dem geforderten Sinne und von einer der Verschmälerung entsprechenden Excursionsweite wirklich erfolgen, hat Zöllner nicht beigebracht. Helmholtz giebt an, dass die Täuschung verschwinde und überhaupt nichts mehr von der bewegten Figur zu erkennen sei, wenn man ganz fest einen Punkt am Spaltenrand fixire. Für mich besteht aber auch dann noch die Täuschung unverändert fort; ebenso für Zöllner. Letzterer betrachtete einen kleinen

Strich in der Nähe des Spaltes, beobachtete also die Figur bloss im indirekten Sehen und erhielt gleichwohl das Zerrbild. Auch fügt Zöllner hinzu, dass ein anderer Beobachter nicht im Stande war, irgend welche Augenbewegung unter diesen Umständen zu erkennen.

Zur Entscheidung der Frage, ob unter diesen Umständen das Auge stillestehe oder sich bewege, prüfte ich die Nachbilder, die der hinter dem Spalt bewegte Gegenstand erzeugt. Sehr deutliche, mit scharfen Umrissen versehene Nachbilder erhielt ich dadurch, dass hinter dem etwa 2 Millimeter breiten Spalt ein undurchsichtiges Papier bewegt wurde, welches an einer Stelle einen Ausschnitt von gleicher Höhe, aber viel grösserer Breite wie der Spalt selbst hatte. Der Spalt wird am Zweckmässigsten vor das helle Licht einer guten Erdöllampe gehalten. Bewegt sich der Ausschnitt mit einer bestimmten Geschwindigkeit, so erscheint er eben so breit als der Spalt; bewegt er sich langsamer, so erscheint er breiter als der Spalt, also immer noch bedeutend verschmälert. In beiden Fällen zeigt aber das Nachbild genau dieselbe Breite, wie der Spalt; die supponirten Augenbewegungen finden also nicht statt und muss das Auge während des Versuches als vollkommen ruhig angenommen werden.

Bewegte ich hinter dem Spalt ein undurchsichtiges Papier, in welchem ein langer, schmaler, linearer Ausschnitt so angebracht war, dass derselbe mit dem Spalt einen Winkel von etwa 45° bildete, so combinirte ich, bei einer nicht zu grossen Geschwindigkeit der Bewegung, die hinter dem Spalt jeweils hervortretenden Stellen des Ausschnittes zu einer schräg verlaufenden geraden Linie. Das Nachbild derselben war so, wie sich nach den eben besprochenen Erfahrungen erwarten liess; seine Richtung fiel genau mit der Richtung des (nunmehr verdunkelten) Spaltes zusammen. Bei diesem Versuch muss der Spalt

in den Abstand des deutlichen Sehens gebracht werden; wird er dem Auge bedeutend genähert, so hat man die Empfindung eines im Spalt sich auf- und abwärts bewegenden Lichtpunktes, aus Gründen, die ich als naheliegend nicht weiter erörtern will.

Nach diesen Erfahrungen muss die Zöllner'sche Erklärung unserer Gesichtstäuschungen aufgegeben werden; auch hebt Zöllner selbst hervor, dass die scheinbare Vergrösserung des hinter dem Spalt sehr langsam bewegten Objectes durch jene Theorie nicht erklärbar ist.

Wir haben es hier mit einem Phänomen zu thun, das offenbar von verschiedenen, zum Theil ausschliesslich psychischen Bestimmungsmomenten abhängt, deren Antheil nur durch eine gehörige Variation der Versuchsbedingungen ermittelt werden kann. Wenn ich den Spalt sehr breit mache, z. B. 1 Zoll, so erscheint mir ein schnell hinter demselben vorbeibewegter Körper, der breiter als der Spalt ist, z. B. ein schwarzes Rechteck auf weissem Grund, nicht bloss deutlich verkürzt, sondern auch viel schmäler als der Spalt; ich sehe also zwischen den beiden zur Bewegungsrichtung senkrechten Rändern des Spaltes und dem verschmälerten Körper einen Zwischenraum, den weissen Grund.

Besonders belehrend ist folgender Versuch. Macht man in ein undurchsichtiges hinter einem schmalen verticalen Spalt vorbeizubewegendes Papier zwei kleine etwa um ½ Zoll von einander abstehende Löcher, am besten von quadratischer Form, doch so, dass die Löcher nicht in derselben zum Spalt senkrechten Linie liegen, sondern an zweien, etwa 1—2 Linien von einander entfernten Stellen des Spaltes zum Durchgang kommen, so sind folgende Fälle möglich:

I) Die beiden Löcher werden zeitlich nach einander erblickt. a) Bei einer gewissen Langsamkeit der Bewegung erscheinen die Löcher weiter von einander abzustehen, als in

Wirklichkeit; b) Bei etwas schnellerer Bewegung erscheinen sie in dem richtigen Abstand. c) Mit zunehmender Geschwindigkeit rücken sie scheinbar einander immer näher; dabei versteht es sich von selbst, dass die Löcher eine der Verschmälerung ihres gegenseitigen Abstandes entsprechende Abnahme ihrer eigenen Breite erleiden.

II) Bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit werden die noch näher zusammenrückenden Löcher gleichzeitig empfunden; ihr scheinbarer Abstand ist merkwürdigerweise grösser als die Breite des Spaltes.

III) Bei der grössten Geschwindigkeit, welche ein deutliches Sehen überhaupt noch gestattet, erscheinen beide Löcher ebenfalls gleichzeitig, aber nicht neben, sondern über einander im Spalt. Dieses ist besonders dann der Fall, wenn ich den Versuch einige Dutzend Male wiederhole; doch wechseln, selbst bei gleicher Geschwindigkeit, die Fälle II und III häufig mit einander.

Fall III bietet für die Erklärung keine Schwierigkeiten; der zweite Eindruck folgt dem ersten so schnell nach, dass der Zeitunterschied für uns vollkommen unmerklich wird. Anders verhält es sich mit den unter I und II erwähnten Erfolgen; so deutlich die betreffenden Empfindungen und die daran sich knüpfenden Vorstellungen auch sind, so ist es gleichwohl hier, wie bei so vielen anderen Sinnestäuschungen, sehr schwierig, über die wahren Grundlagen der Vorstellungen sich Rechenschaft zu geben.

Besorgen wir selbst die Vorbeibewegung des Objectes hinter dem Spalt, so haben wir schon desshalb eine annähernde Vorstellung über dessen Geschwindigkeit; aber auch dann finden wir noch Anhaltspunkte genug zu solchen Vorstellungen, wenn das Object von einem Andern in Bewegung gesetzt wird. Gehen wir von der Annahme aus, dass die Vorstellung der Geschwin-

digkeit bei dieser Gesichtstäuschung einen directen Antheil habe, so käme vor Allem der unseren Geschwindigkeitswahrnehmungen anhaftende constante Fehler in Betracht. Sehen wir einen Körper durch denselben Raum einmal mit grosser, das andere Mal mit geringer Geschwindigkeit sich bewegen, so wird (nach §. 20) die Geschwindigkeit im ersten Fall unter-, im zweiten Fall überschätzt. Man könnte desshalb vermuthen, dass sich mit einer langsamen Vorbeibewegung beider Löcher hinter dem Spalt die Vorstellung einer Geschwindigkeit verbindet, die grösser ist als die wirkliche, mit einer schnellen Vorbeibewegung aber die Vorstellung einer geringeren Geschwindigkeit; die Löcher müssen uns desshalb im ersten Fall in einem grösseren, im zweiten Fall in einem kleineren Abstand erscheinen, als der Wirklichkeit entspricht. In beiden Fällen treten beide Empfindungen deutlich nach einander auf; das Nachbild der ersten ist somit verschwunden beim Beginne der zweiten Empfindung.

Entsteht die zweite Empfindung aber zu einer Zeit, wo die Nachwirkung des ersten Eindrucks noch nicht verschwunden ist, so tritt der Fall II ein, d. h. wir sehen beide Löcher zugleich und zwar hinter dem Spalt. Die scheinbare Breite der Löcher und ihr, obschon sehr kleiner gegenseitiger Abstand sind zusammengenommen merkwürdigerweise erheblich grösser als die Spaltbreite. Den Spalt selbst betrachte ich im Abstand der mittleren Sehweite und habe zugleich die deutliche Vorstellung, dass das Object sich mehr oder weniger nahe hinter dem Spalt vorbeibewegt; ein falsches Hinausversetzen des Gesehenen in einen, seiner scheinbaren Grösse entsprechenden Abstand hinter dem Spalt kann ich desshalb nicht annehmen, ganz abgesehen davon, dass die Schmalheit des Spaltes eine solche Annahme ausschliesst. Wir haben es hier mit einem Conflict zwischen Raum- und Zeitanschauungen zu thun, für welchen ich keine Erklärung zu geben im Stande bin.

Zur bequemen Beobachtung der Verschmälerung des Objectes befestigte ich an das obere Ende des Pendels eines Mälzel'schen Metronoms eine 3 Zoll lange Glascapillare, so dass die letztere eine lineare Verlängerung des Pendels bildete, und verband mit dieser senkrechten Capillare eine zweite, viel längere, horizontale. Auf letztere wurde ein etwa 100 Millimeter langer und 5 Millimeter breiter, kreisbogenförmig ausgeschnittener Streif schwarzen Papieres mittelst etwas Siegellack befestigt. Die Form des Papiers entsprach einem Theil des Kreisbogens, welchen das Ende des verlängerten Metronompendels bei seinen Schwingungen beschrieb. Der Papierstreif und sein Träger verlangsamen die Schlagfolge des Metronoms nur um wenige Schwingungen in 1 Minute; diese Verlangsamung wurde für alle angewandten Einstellungen des Metronompendels besonders bestimmt. Lässt man den Papierstreif hinter einem Spalt sich vorbeibewegen, so erscheint derselbe bedeutend verkürzt und zwar um so mehr, auf je schnellere Schläge das Metronom eingestellt wird. Die Geschwindigkeit ist bei den langsamsten Pendelschwingungen noch so gross, dass der Gegenstand nicht etwa successiv hinter dem Spalt vorbeigehend, sondern auf einmal in starker Verkürzung erscheint. Die scheinbare Breite desselben ist wiederum sehr viel grösser als die Breite des Spaltes. Bei mässiger Geschwindigkeit scheint der Gegenstand sich ein wenig zu bewegen, während er bei grosser Geschwindigkeit nahezu unbeweglich erscheint. Nach diesen Erfahrungen musste ich die oben erörterte Annahme, dass falsche Geschwindigkeitsvorstellungen einen erheblichen Antheil an der Täuschung haben, aufgeben.

Der verschmälerte Gegenstand hat einen schwach convexen oberen und concaven unteren Rand; seine Umrisse sind so deutlich und scharf, dass die Dimensionen gut abgeschätzt werden können. Zweckmässiger aber ist es, das Gesehene auf ein in

derselben Schweite befindliches Papier abzuzeichnen, was mit einer Genauigkeit vollführt werden kann, die kaum zurückstehen dürfte hinter unserer Fähigkeit, eine sorgfältig betrachtete ruhende Dimension unmittelbar nachzuzeichnen.

Unser Phänomen lässt sich also mit hinreichender Zuverlässigkeit messend beobachten, vorausgesetzt dass die Zeit des Vorüberganges des Objectes hinter dem Spalt genau bekannt ist. Nun sind aber die Schwingungsphasen des Metronompendels meines Wissens bisher noch nicht untersucht; sie weichen von der Schwingungsweise eines freien Pendels, welches ungehindert seine stärkste Abweichung von der Ruhelage erreichen kann, ohne Zweifel erheblich ab.

Um diesem Uebelstand zu begegnen, verlängerte ich den Papierstreif derartig (bis auf 290 Millimeter), dass nahezu die ganze Dauer einer Pendelschwingung nöthig war, um denselben hinter dem Spalt vorbeizubewegen; das linke Ende des Papierstreifs war also kaum verschwunden am Ende einer Schwingung, wenn es im Beginn der darauf folgenden Schwingung wieder hinter dem Spalt zum Vorschein kam.

Die nachfolgende Tabelle enthält die Endwerthe von vier Versuchsreihen; der angewandte Spalt war 1 Millimeter breit und 30 Mill. hoch. Die abgezeichnete scheinbare Breite des Objectes wurde in der Mitte zwischen dessen oberem und unterem Rand gemessen.

Tab. Z'.

Zahl der Metronomschläge in 1 Minute. a.	Dauer eines Metronomschlags in Secunden. b.	Scheinbare Breite des (299 Mill. langen) Kreisbogens in Millimetern. c.	$\frac{b}{c}$
145	0,41	7,5	0,054
135	0,44	8,7	0,051
125	0,48	10,7	0,045
115	0,52	12,2	0,043
105	0,57	14,0	0,041
95	0,63	18,2	0,034
85	0,70	20,8	0,034
75	0,80	23,3	0,035
65	0,92	25,0	0,037
55	1,09	28,0	0,039
		Mittel:	0,041

Den obigen Erfahrungen zufolge verschmälert sich der Gegenstand immer mehr, je schneller er hinter dem Spalt vorbeigeführt wird. In den 7 oberen Rubriken wurde derselbe ohne Ausnahme in seiner ganzen scheinbaren Breite auf einmal hinter dem Spalt erblickt; in den 3 unteren Rubriken kamen, und zwar mit zunehmender Verlangsamung der Bewegung in zunehmender Zahl, auch solche Fälle vor, in welchen eben noch ein Verschwinden des einen Endes hinter dem einen Spaltrand wahrgenommen werden konnte, in dem Augenblick, wo der grösste Theil des Objectes und sein anderes Ende sichtbar war. Auch in letzterem Fall ist noch eine Vorstellung von der Länge des Objectes möglich, wenn auch mit geringerer Genauigkeit. Während die scheinbare Grösse bei derselben Geschwindigkeit der Vorbeibewegung im Allgemeinen wenig variirte in den ein-

zelnen Versuchstagen, schwankte sie stärker bei einer und derselben langsamen Geschwindigkeit. Auch will ich die Bemerkung nicht unterlassen, dass das Object in fast allen Fällen bei seinen 3—6 ersten Vorübergängen breiter erscheint als später; sehr schnell aber kommt der Zeitpunkt, wo seine scheinbare Breite constant bleibt. Selbstverständlich ist nur dieser Zustand der Constanz der Objectbreite einer Messung fähig.

Zur Erklärung dieser merkwürdigen Gesichtstäuschung, welche nach meinen Erfahrungen Jedermann, nach bloss kurzer Vorübung, leicht beobachten kann, wollen wir — nachdem die Annahme einer Betheilung falscher Bewegungsvorstellungen aufgegeben werden musste — von der Voraussetzung ausgehen, dass uns das Object um so weniger Einzeleindrücke verschaffe, je schneller es hinter dem Spalt vorbeibewegt wird. Die scheinbare Länge des Gegenstandes wäre demnach proportional der Zahl der Einzeleindrücke, die uns derselbe verschafft. Jeder Einzeleindruck besteht, wie wir annehmen wollen, in der Wahrnehmung eines Stückes des Gegenstandes von einer dem Spalt entsprechenden Breite. Dann muss auch der Quotient der scheinbaren Breite des Objectes in die Dauer des Vorüberganges bei allen Geschwindigkeiten derselbe sein.

Die Werthe der Rubrik $\frac{b}{c}$ der Tabelle Z', als Quotienten der scheinbaren Objectbreite in die zum Vorübergang des Objects hinter dem Spalt gebrauchte Zeit, zeigen unverkennbar eine gewisse Uebereinstimmung, obschon die Zeit des Vorüberganges, aus dem oben angegebenen Grunde, nur annähernd richtig bestimmt werden konnte.

Besteht ein Einzeleindruck — wie ich oben angenommen habe — wirklich in der Wahrnehmung des hinter dem Spalt eben vorbeigehenden Stückes des Gegenstandes von einer, dem Spalt entsprechenden Breite, so muss die scheinbare Breite des ganzen Gegenstandes mit der Spaltbreite zunehmen. Und

so verhält es sich in der That nach meinen bis jetzt allerdings nur vorläufigen Erfahrungen; bei einer Schlagfolge von 145 Schlägen in 1 Minute erhielt ich bei Spaltbreiten von 2 und 4 Millimetern eine um etwa 2 und 4mal grössere scheinbare Objectbreite, als bei der Anwendung eines bloss 1 Millimeter breiten Spaltes.

Die durchschnittliche Dauer eines Einzeleindrucks beträgt nach Tabelle Z' 0,041 Secunde. Doch ist dieser Werth, wegen des meiner Zeitmessung anhaftenden Fehlers, etwas zu hoch. Sämmtliche Einzeleindrücke sind qualitativ genau gleich, wesshalb sie sich auch trotz der Kürze ihres Bestehens zu einer deutlichen Gesammtempfindung juxtaponiren, indem die Nachdauer des vorhergegangenen Eindrucks keineswegs störend, sondern im Gegentheil fördernd auf die Wahrnehmung des nachfolgenden Eindrucks wirken kann. Wären die Einzeleindrücke qualitativ verschieden, z. B. ungleichfarbig, so würden sie als solche nicht mehr wahrgenommen werden können.

Ich lasse mir gegenwärtig eine Pendelvorrichtung anfertigen, mittelst welcher sowohl die Zeit des Vorüberganges als die scheinbare Verkürzung des Objectes viel genauer als durch das von mir bis jetzt angewandte Verfahren bestimmt werden kann. Die mit einem Laufgewicht versehene Pendelstange ist sehr lang, sodass ihr unteres Ende in einem sehr schwach gekrümmten Bogen schwingt. An das freie Ende des Pendels ist eine, in der Schwingungsebene des Pendels liegende Metallplatte befestigt, welche mit einem grossen Ausschnitt von der Form eines Rechteckes versehen ist, dessen langer Durchmesser in die Richtung der Pendelschwingungen fällt. Der viel kleinere senkrechte Durchmesser des Ausschnittes kann von seinem unteren Rande aus durch eine verschiebbare Metallplatte beliebig verringert werden. Man hat demnach die Aufgabe, die bewegliche Metallplatte so weit nach aufwärts zu verschieben,

bis der scheinbare horizontale und der senkrechte Durchmesser des Rechtecks genau gleich sind. Da wir die Gleichheit der Seiten mit grosser Genauigkeit wahrnehmen, so ist dieses Verfahren dem Abzeichnen der scheinbaren Objectbreite bei Weitem vorzuziehen. —

Während das mit einer gewissen Geschwindigkeit hinter dem Spalt vorbeigehende Object uns ruhend oder fast ruhend und zugleich bedeutend verkürzt erscheint, haben wir bei dessen langsameren Vorübergängen genügend Zeit, das allmälige Vorbeigehen der einzelnen Theile hinter dem Spalt wahrzunehmen. Es handelt sich hier um eine wirklich wahrgenommene Bewegung und ist die, schon oben gegebene, auf Täuschung der Geschwindigkeit beruhende Erklärung für diesen Fall die einzig mögliche. Die Dauer des ganzen Vorübergangs wird von uns unterschätzt, die Geschwindigkeit also für grösser gehalten als sie wirklich ist, sodass der Gegenstand in der Richtung seiner Fortbewegung etwas länger erscheint, als er in der That ist.

§. 28. Die Verkleinerung der Gegenstände in Folge rascher parallactischer Verschiebung gegen den Hintergrund.

Wenn schnell vorbeibewegte Gegenstände uns kürzer erscheinen, so müssen uns auch ruhende Dinge schmäler und kleiner vorkommen, wenn wir selbst sehr schnell an ihnen vorbeibewegt werden. Auf diese Gesichtstäuschung hat zuerst Dove (Poggendorff's Annalen der Physik 1847, Bd. 71, S. 118) aufmerksam gemacht. Beim Fahren auf der Eisenbahn erscheinen uns die in der Nähe der Bahn befindlichen Gegenstände merklich kleiner; die Täuschung hört auf oder tritt nur sehr undeutlich hervor, wenn man sich mit geringerer Geschwindigkeit der Station nähert. Diese Täuschung, die wir durch kein psychisches Cor-

rectionsmittel unterdrücken können — ob sie auch bei denen, die anhaltend auf Eisenbahnen fahren, in gleichem Grade vorkommt, weiss ich nicht — leitet Dove davon ab, dass man „die ungewohnte Geschwindigkeit des Fortrückens in wagrechter Richtung mit der Vorstellung über die Höhe der Gegenstände combinirt und diese daher kleiner beurtheilt."

Unmittelbar nach einer Vorlesung, in welcher ich die Dove'sche Erklärung des Phänomens erwähnte, proponirte mir ein begabter Zuhörer, Hr. Sick, gegenwärtig Arzt in Stuttgart, folgende, offenbar präcisere Form der Erklärung. Bewegen wir uns activ oder passiv, so rücken bekanntlich die seitlich gelegenen Gegenstände scheinbar in entgegengesetzter Richtung weiter, die näheren schneller, die ferneren langsamer; während die in einer gewissen Entfernung liegenden ruhend erscheinen. Nahe Gegenstände verschieben sich also viel schneller gegen den ruhenden Hintergrund als ferne. Da nun die Verschiebung ungewohnt schnell erfolgt beim raschen Fahren, so werden wir veranlasst, das Gesehene in grössere Nähe zu projiciren; die Dinge erscheinen uns desshalb kleiner.

Die Täuschung würde noch grösser sein, wenn nicht der, unsere Zeitauffassungen begleitende constante Fehler berichtigend eingreifen würde. Die subjective Vergrösserung kleiner Zeiten verkleinert nämlich in diesem Fall unsere Geschwindigkeitsauffassung.

In gewisser Beziehung gehören hieher wohl auch gewisse Gesichtstäuschungen im Traum. Wenn wir mit grosser Geschwindigkeit über den Boden hinzuschweben oder zu fliegen vermeinen, kommen uns die Traumbilder oft auffallend klein vor, während wir zugleich die Empfindung einer enormen Länge des eigenen Körpers haben.

§. 29. Zeitempfindungen qualitativer Natur.

Die Grösse einer gehabten Zeitempfindung oder Wahrnehmung vermögen wir zunächst dadurch auszudrücken, dass wir dieselbe wiederholen, eine Aufgabe, mit welcher die Mehrzahl der Versuchsreihen dieser Schrift sich beschäftigt.

Ausserdem können wir eine wahrgenommene Zeitgrösse in absoluten conventionellen Maasswerthen annähernd taxiren. Nach diesem Verfahren habe ich grössere, 5—60 Minuten umfassende Zeitwerthe, in §. 19, in ihren Minutenwerthen zu schätzen versucht.

Wir haben aber noch ein drittes Hülfsmittel, um Zeitgrössen an und für sich zu taxiren, indem wir, s. §. 6, die Empfindungen, resp. Wahrnehmungen mit Ausdrücken benennen, welche deren Grössenmaasse annähernd angeben. Wir bezeichnen Zeitgrössen der Reihe nach als sehr gross — gross — mässig gross u. s. w. bis herab in die extremen Grade des Kleinsten. Dabei fussen wir in der Regel auf unseren Erfahrungen über die durchschnittliche Dauer nicht bloss zahlreicher Vorgänge der Aussenwelt, sondern auch unserer eigenen körperlichen und geistigen Verrichtungen und bezeichnen demgemäss einen Vorgang als lang oder kurz dauernd in ausschliesslichem Hinblick auf die Zeit, in der derselbe durchschnittlich abläuft. Indem wir auf diese Weise von der absoluten Zeit uns unabhängig machen, sind wir im Stande, mit der an sich geringen Zahl der uns hier zu Gebot stehenden Geschwindigkeitscategorien, gleichwohl die verschiedensten absoluten Zeitwerthe indirekt annähernd angeben zu können.

Nach diesem Verfahren habe ich, in §. 18, die Eindrücke verzeichnet, welche die verschieden schnelle Schlagfolge eines Metronoms in einer grössern Versuchsreihe auf mich machte.

Obschon dieselbe zwischen 40 bis über 200 Schlägen in der Minute variirte, so konnte ich nicht mehr als etwa 7 Geschwindigkeitscategorien vom „sehr Langsamen“ bis zum „sehr Schnellen“ unterscheiden; in jedem Einzelfall also eine geringe Leistung, die weit zurücksteht hinter dem, was die Unterscheidungsempfindlichkeit vermag, wenn es sich um die unmittelbare Vergleichung zweier nur wenig differenten Schlagfolgen (§. 16) handelt. Betrachtet man aber sämmtliche Entscheidungen der Versuchsreihe, so ergiebt sich, wie §. 18 gezeigt wurde, einerseits für jede Empfindungscategorie eine bestimmte Breite, die nicht überschritten wird und andererseits eine, von der langsamsten Schlagfolge an allmälig erfolgende Abnahme der langsameren und eine nicht minder regelmässig erfolgende Zunahme der schnelleren Geschwindigkeitscategorien.

Indem wir eine Bewegung als langsam oder schnell, eine Zeitgrösse als kurz oder lang dauernd, eine Raumgrösse als gross oder klein bezeichnen, so drücken wir etwas an sich Qualitatives aus; jedoch ist dieses Qualitative, ebenso wie die qualitativen Empfindungen der Specialsinne, seinem Wesen nach ein Quantitatives, das aber als Solches, d. h. in seinen Grössenmaassen nicht deutlich in unser Bewusstsein fällt.

Was die, mit zunehmender Zeit wachsende, absolute Breite der einzelnen Empfindungscategorien betrifft, so verweise ich auf Tab. E′ §. 18; dessgleichen auf Tab. F′ bezüglich der relativen Breite dieser Categorien. Die letztere zeigt eine auffallende Uebereinstimmung in den einzelnen Geschwindigkeitscategorien; wobei nur die Empfindung «schnell» eine Ausnahme macht, von der ich dahingestellt lassen muss, ob sie eine zufällige sei.

§. 30. Der mittlere reine Fehler der Zeitempfindungen.

Wenn wir durch irgend einen Sinn vermittelte Zeitempfindungen wiederholen, indem wir deren Dauer auf das Kymographion verzeichnen, sodann den den Empfindungen anhaftenden constanten Fehler in jedem Einzelversuch in Rechnung bringen, so ergeben sich die reinen variabelen Fehler (§. 6), welchen unsere Zeitempfindungen unterliegen, als numerische Ausdrücke für die Empfindlichkeit des Zeitsinnes. Der aus den einzelnen variabelen Fehlern genommene mittlere Fehler — in Procenten ausgedrückt — gehorcht folgendem Gesetz: er nimmt, von den kleinsten Zeitwerthen an, ab mit Zunahme der objectiven Zeit; erreicht ein Minimum, etwa zwischen 1 bis 1½ Secunden; steigt sodann wieder, anfangs rasch, später langsam und scheint später einen annähernd constanten Werth anzunehmen.

Das Fehlerminimum liegt: 1) für die gehörte Zeit zwischen 1 — 1½ Secunde mit 8,6% (Tabelle A). Wurde aber eine Pause zwischen der Empfindung und deren Reproduction eingeschoben, so fiel das Minimum mit 8% auf eine viel kleinere Zeit (0,6 Secunde, Tabelle B); bei einer andern Versuchsperson aber (Tabelle D) wiederum auf 1 — 1½ Secunden mit 8,7%. 2) Bei der Wiederholung einer Willensbewegung fiel das Minimum mit 4,5% auf 0,9 Secunde (Tabelle H). 3) Für die durch das Getast percipirte Zeit liegt das Minimum wiederum zwischen 1—1,25 Secunden, jedoch mit 11,1% (Tab. G).

Die Empfindung der kleinsten gehörten Zeit, 0,2 Sec. Tab. A, ist mit einem mittleren Fehler von 16,6% verbunden. Bei eingeschobener kleiner Pause war bei einer anderen Versuchsperson der mittlere Fehler 12,3% für Zeitwerthe unter ½ Secunde (Tab. D), für mich aber (Tab. B) 8% bei 0,6 Secunde.

Die schnellste Willensbewegung (0,2 Secunde Tab. H) zeigte einen mittleren Fehler von 9,4%; die kürzeste durch das Getast empfundene Zeit (0,25—0,5 Secunde) einen solchen von etwa 16%.

Jenseits des Minimums nimmt, mit Zunahme der objectiven Zeit, der mittlere Fehler wieder zu und erreicht etwa zwischen 3—5 Secunden annähernd die Grösse, welche er bei dem kleinsten von mir untersuchten Zeitwerth zeigt. Das weitere Steigen des mittlern Fehlers erfolgt sodann langsam; später scheint, wie gesagt, der Fehler constant zu bleiben. Das Fehlerminimum verhält sich zum Fehlermaximum innerhalb der von mir untersuchten Zeitgrenzen wie 10 zu 20 bis 30.

Die Einzelsinne als solche können, wie von vornherein zu erwarten ist, nur bei der Empfindung kleiner Zeiträume, etwa bis 2 Secunden, in Betracht kommen; jenseits dieser Grenze werden die Leistungen des Zeitsinns nicht mehr modificirt durch die Natur des in Anspruch genommenen Specialsinnes, und wenn unsere Versuchsreihen Abweichungen zeigen in der Grösse des mittlern Fehlers bei derselben durch verschiedene Sinne wahrgenommenen grösseren Zeit, so rührt das sowohl von der relativ kleinen Zahl der Einzelversuche, als davon her, dass die Beobachtungsreihen nicht in derselben Zeitperiode angestellt wurden und angestellt werden konnten.

§. 31. Periodische Zeitempfindungen.

Die periodische Wiederholung der Sinnesreize modificirt unsere Zeitempfindungen in eingreifendster Weise. Halten wir uns vorerst an das, was die unmittelbare Beobachtung unseres Empfindungszustandes ergiebt, und an denjenigen Sinn, welcher wegen der kurzen Nachdauer der Empfindungen zu solchen Beobachtungen der geeignetste ist, den Gehörsinn.

Folgen zwei, kurz abgebrochene Gehöreindrücke rasch auf einander, so fällt das zwischen denselben liegende Zeitintervall, vorausgesetzt, dass es nicht zu kurz ist, deutlich in unsere Empfindung; die Zeit selbst wird, weil sie klein ist, (nach §. 10) erheblich grösser von uns empfunden als sie wirklich ist. Wiederholen sich aber die raschen Impressionen in regelmässigen Perioden einigemal, so sind wir nicht im Stande, jedes einzelne Intervall für sich zu beachten; wir messen nunmehr die Gesammtdauer der Intervalle. Ist die Schlagfolge nicht zu schnell, so geben wir mittelst des Schreibhebelapparates nicht bloss die Gesammtdauer, sondern auch die Dauer der Einzelintervalle annähernd richtig am Kymographion an, d. h. wir markiren Intervalle von ungefähr gleicher Grösse und verzeichnen — vorausgesetzt dass die Zahl der Impressionen keine zu grosse, die Beobachtungszeit also keine zu lange war — so viele Intervalle als wir wirklich gehört haben. Der ganze Process ist ein blosser Empfindungsact; die Zahl der markirten Intervalle kennen wir, obschon wir sie richtig angeben, nicht; um sie anzugeben, müssen wir die gehabten Impressionen zählend wiederholen. Folgen die Schläge noch rascher, aber mit noch deutlichen Intervallen, so sind wir nur im Stande, die Gesammtdauer der Intervalle richtig anzugeben.

In Tab. F §. 11 handelt es sich um die Reproduction von 8, nach je gleich grossen Zeitintervallen erhaltenen Gehöreindrücken; in Tab. E §. 10, bei derselben Versuchsperson, um die Wiederholung von bloss zweien solcher Eindrücke; im ersten Fall also um 7 aufeinander folgende gleichgrosse Zeiten, im zweiten um eine Zeitgrösse allein. Im letztern Fall liegt der Indifferenzpunkt bei 1,5 Secunden, d. h. die durch zwei Gehöreindrücke begrenzte Zeit von $1^1/_2$ Secunden wurde durchschnittlich eben so gross wiederholt. Die periodischen Schlagfolgen der Tab. F zeigen den Indifferenzpunkt schon bei 0,23

Secunde eines Schlagintervalls. Bei einem und demselben Individuum kann aber unmöglich in zwei verschiedenen an demselben Sinne angestellten Versuchsreihen der Indifferenzpunkt einen Unterschied um das Sechsfache bis Siebenfache bieten. Der scheinbare Widerspruch zwischen den Zahlenwerthen der Tabellen F und E löst sich aber, wenn wir annehmen, dass in F keineswegs die Dauern der einzelnen Schlagfolgen gemessen, sondern alle 7 Intervalle zusammengefasst wurden. $7 \times 0{,}23 = 1{,}61$ Secunde giebt einen Werth, der dem Zeitwerth des Indifferenzpunktes bei einmaliger Perception fast vollständig gleich ist.

Für die noch kürzeren periodischen Intervalle von 0,183 Secunde ergiebt Tab. F einen rohen Fehler von bloss + 1,3%; würden die einzelnen Intervalle für sich wahrgenommen, so müsste der rohe Fehler einen grossen positiven Werth zeigen. Er zeigt aber nur denjenigen Werth, welcher nach Tabelle E der Zeit $0{,}183 \times 7 = 1{,}28$ Secunden entspricht.

Diese Erfahrungen bestätigen also die Aussage unseres unmittelbaren Empfindungszustandes, dass wir bei kurzen periodischen Impressionen nicht die Dauer der einzelnen Perioden, sondern die Gesammtzeit in der That messen. Dabei summiren wir aber nicht etwa sehr viele Impressionen, welche zu einer grossen Gesammtzeit führen würden, die wiederum sehr undeutlich für uns wäre; sondern wir wählen die Gesammtzeit so gross, dass wir sie deutlich übersehen können.

Anders gestaltet sich der Empfindungszustand, wenn die Schläge weniger rasch auf einander folgen. Wir fassen nicht etwa jeden Schlag unabhängig für sich auf, haben also z. B. bei 6 Tiktaks nicht 6 gleichweit von einander abstehende Empfindungen, d. h. 5 Zeitintervalle, sondern finden es viel bequemer, je ein Intervall gewissermassen zu überspringen; wir vereinigen also die Impressionen paarweis, und wenden bei 6 Tiktaks bloss

3 Intervallen, dem 1. 3. und 5. unsere Aufmerksamkeit zu. Die geraden Intervalle fallen nicht in die directe Empfindung; die Zeit ihres Vorüberganges verwenden wir zur Verarbeitung der durch das vorhergegangene Intervall erhaltenen zeitlichen Impression. Dadurch vergrössert sich der Eindruck der ungeraden, direct empfundenen Intervalle etwas, während die geraden Intervalle von uns etwas verkleinert werden. Die gesammte Zeit erleidet dadurch eine gewisse Verkleinerung; in Tab. F zeigt der mittlere rohe Fehler, bei Schlagintervallen von 0,3 Sec. an, einen negativen Werth. Mittelst eines gewissen Zwanges können wir jedoch jeden einzelnen Schlag unabhängig für sich auffassen, sodass die Empfindung von einem Schlag zum andern sprungweis übergeht. Die Intervalle, jedes für sich, kommen uns nunmehr kleiner vor, als die direct empfundenen beim gewöhnlichen Verfahren; sie müssen kleiner erscheinen, weil wir nicht die gehörige Zeit haben, ihnen unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Die Gesammtzeit aber fassen wir entschieden grösser auf, als beim gewöhnlichen Verfahren. Damit kann wohl das Verfahren des Raumsinns verglichen werden, welcher eine Distanz etwas grösser auffasst, wenn dieselbe in der Mitte abgetheilt wird.

Folgen endlich die Schläge mit einer gewissen Langsamkeit auf einander, so fällt die Bevorzugung der ungeraden Intervalle weg, da wir Zeit genug finden, jedem Einzelintervall für sich die nöthige Aufmerksamkeit zu schenken.

Die periodische Aufeinanderfolge gleicher Zeiteindrücke schärft die Genauigkeit der Auffassung in hohem Grade; desshalb zeigt der reine variabele Fehler in Tab. F sehr viel kleinere Werthe, als in den Versuchsreihen, in welchen bloss einzelne Zeitgrössen zur Wahrnehmung kommen.

§. 32. Der zeitliche Verlauf der Willensbewegung.

Der Einfluss des Willens auf die Muskelbewegungen bezieht sich auf die Richtung, die Dauer und Grösse, also Geschwindigkeit der Bewegung, sowie auf die Kraft, mit der die Bewegung vollführt wird, und die uns befähigt, durch Ueberwindung äusserer Widerstände mechanische Arbeit zu leisten. Zugleich steht es in unserer Willkür, die Richtung, Geschwindigkeit und Kraft in den einzelnen Phasen der Bewegung entweder (annähernd) constant beizubehalten, oder dieselben, und zwar innerhalb ziemlich weiter Grenzen, auf das Mannigfaltigste abzuändern.

Die Leistungen der Willkürbewegung in Bezug auf die einzuhaltende Richtung, sammt den damit verbundenen constanten und reinen Fehlern, sind bis jetzt noch nicht experimentell geprüft worden. Die einfachsten Leistungen des Zeitsinnes in der Ausführung momentaner, in bestimmter zeitlichen Aufeinanderfolge geschehenden Willensbewegungen sind in §§. 13—15; die complicirteren Leistungen, bestehend in der Ausführung gewollter Bewegungen von bestimmter Geschwindigkeit, in §§. 21—23 erörtert.

Unserer Willkür ist anheimgestellt, die Bewegungen gleichförmig, oder beschleunigt, oder verzögert einzurichten, oder endlich die Geschwindigkeit in den einzelnen Phasen der Bewegungszeit auf das Mannigfaltigste abzuändern. Mit der als gleichförmig beabsichtigten Bewegung verknüpfen wir in ganz bestimmter Weise die entsprechende Vorstellung und werden uns der §. 21 geschilderten, unvermeidlichen Abweichungen von der Gleichförmigkeit keineswegs bewusst. Vollführen wir dagegen eine beabsichtigte beschleunigte oder verzögerte Bewegung, so fehlt uns jede Vorstellung über die Art des Anwachsens, resp. der Abnahme der Geschwindigkeit; wir wissen nicht, ob die Ge-

schwindigkeit in gleichen Zeitphasen um gleichviel wächst, resp. abnimmt, ob wir also eine gleichförmig oder irgendwie ungleichförmig beschleunigte, resp. verzögerte Bewegung ausführen.

Dasselbe ist der Fall, wenn wir einen bewegten Körper sehen, oder wenn ein Tastobject über eine grössere Strecke unserer Haut sich bewegt. Gleichmässigkeit der Bewegung erkennen wir mit dem Auge wiederum sehr gut, halten aber gleichwohl auch solche Bewegungen noch für gleichmässige, welche es in Wirklichkeit nur annähernd sind. Mit einer beobachteten zu- oder abnehmenden Geschwindigkeit verbinden wir dagegen keine genauere Vorstellung über die Geschwindigkeitsänderungen im Verlauf der Beobachtungszeit.

Es ist nun höchst merkwürdig, dass gerade derjenige Bewegungsmodus, an welchen sich keine nähere Vorstellung der Geschwindigkeitsänderung knüpft, als der regelmässigste von allen sich erweist, wenn wir denselben willkürlich ausführen. Abgesehen von der Anfangs- und Endzeit, welche selbstverständlich besonderen Gesetzen gehorchen, vollführen wir eine als beschleunigt beabsichtigte Bewegung derartig, dass die Geschwindigkeit der Zeit proportional wächst, d. h. wir bringen eine gleichförmig beschleunigte Bewegung zu Stande. Die Regelmässigkeit, mit welcher dieses geschieht, rechtfertigt den Schluss, dass hier der Willenseinfluss den Muskeln gegenüber unter den günstigsten Bedingungen steht und überhaupt die einfachste Form annimmt, in welcher er wirken kann. Die einfachste Form ist aber die, dass das die Bewegung unterhaltende Agens in jedem Zeitmoment gleichstark wirkt. Die motorischen Nerven und Muskeln verlangen bekanntlich keine constanten, sondern discontinuirliche Reize, wenn die Muskeln in anhaltender Verkürzung verharren sollen; dasselbe gilt auch für den Fall, wenn der Muskel vom erschlafften Zustand nur allmälig, aber stetig in seinen stärksten Verkürzungsgrad über-

zugehen hat. Die vom Willen ausgelöste Reizung des motorischen Nerven muss desshalb ebenfalls eine discontinuirliche sein. Nehmen wir eine analoge Bewegungsform auch für die dem Willensreiz zu Grunde liegende psychische Bewegung an — eine Anschauung, die, seitdem sie von Ed. Weber aufgestellt wurde, von manchen Physiologen direkt oder indirekt gebilligt und auch neuerdings von Marey (du mouvement dans les fonctions de la vie, Paris 1868, S. 445) unter Hinweisung auf gewisse Eigenschaften des Muskeltetanus des Weitern bekräftigt wird — so würde jedem elementaren Willensstoss eine minimale Verkürzung des Muskels entsprechen. Ein momentaner electrischer Reiz von relativ unendlich kurzer Dauer bringt im Muskel eine Verkürzung von endlicher, d. h. einen starken Bruchtheil einer Secunde betragenden Dauer hervor; der Muskel verkürzt sich mit anfangs zunehmender, später abnehmender Geschwindigkeit; erreicht das Verkürzungsmaximum, im Froschmuskel etwa nach $^1/_{30}$—$^1/_{20}$ Secunde und beginnt sodann sogleich sich, anfangs rascher, später langsamer, wieder zu verlängern.

Viel rascher erfolgt die Verkürzung und Wiederverlängerung in den Muskeln von Warmblütern; 10—20 electrische Schläge in der Secunde versetzen den Froschmuskel in gleichmässigen Tetanus, wogegen Marey selbst mit 70 Schlägen in der Secunde im Vogelmuskel noch keinen gleichmässigen Tetanus erhalten konnte. Die Grösse der Verkürzung wächst mit zunehmender Stärke des Schlages, jedoch nur bis zu einer gewissen Reizstärke, sodass eine weitere Steigerung der letztern den Muskel nicht noch mehr verkürzt.

Soll ein Muskel in anhaltende Thätigkeit versetzt werden, so müssen die Schläge mit einer gewissen Geschwindigkeit auf einander folgen, welche die durch die Einzelschläge ausgelösten kurzdauernden Contractionen zu einem Gesammteffect verbindet. Die Form, welche die anhaltende Muskelthätigkeit an-

nimmt, hängt von der Raschheit und Stärke der Schläge ab. Bis jetzt wurden vorzugsweise die Bedingungen, welche den Tetanus herbeiführen, durch Helmholtz und dessen Nachfolger festgestellt; die hier uns allein interessirenden Bewegungen aber, die constante, die beschleunigte und die verzögerte Muskelverkürzung — Aufgaben, welche dem Experiment bedeutende Schwierigkeiten entgegenstellen — sind noch nicht in Angriff genommen worden.

Dieser Mangel an thatsächlichen Erfahrungen kann keineswegs durch Deduction aus allgemeinen Sätzen der Muskelphysiologie ersetzt werden, wenn es sich um die speciellen Bedingungen handelt, welche den in Rede stehenden Bewegungsformen des thätigen Muskels zu Grunde liegen. Ich beschränke mich desshalb auf die Vermuthung, dass bei constanten Bewegungen die Reize mit einer relativen Langsamkeit auf einander folgen: der neue Stoss würde den Muskel treffen, zu einer Zeit, wo letzterer sich nur noch wenig zusammenzieht, oder wo er eben aufhört sich zu verkürzen. Die gesammte Bewegung bestünde demnach — und bei möglichst langsamen constanten Bewegungen haben wir in der That eine entsprechende Empfindung — aus einer Reihe von kleinen Einzelverkürzungen, die aber immer noch so schnell auf einander folgen, dass ihre Perioden in der Regel nicht oder nur undeutlich und theilweis in unser Bewusstsein fallen. Kommt dagegen der neue Willensstoss jeweils zur Wirkung, wenn der Muskel noch in raseher Verkürzung begriffen ist, in Folge des vorhergegangenen Stosses, so kann die Bewegung eine Beschleunigung erfahren. Die constante Bewegung hätte demnach die Trägheit der Muskelfaser zu überwinden, während diese Hindernisse wegfallen bei der beschleunigten Bewegung. Der Willensreiz wirkt also im letzteren Fall unter günstigeren Bedingungen und desshalb nehmen unsere willkürlichen Bewegungen leichter die Form der beschleunigten Be-

wegung an. Die beschleunigte Willkürbewegung wäre also ein viel weniger erzwungener Zustand des Muskels als die constante. Die allmälig verzögerte Bewegung ist unter allen möglichen Bewegungsformen, wie schon der mit ihr verbundene Empfindungszustand deutlich beweist, diejenige, bei welcher die freie Thätigkeit des Muskels die stärkste Hemmung erfährt. —

Eine als constant beabsichtigte Geschwindigkeit kommt nur allmälig zu Stande. Tab. I′ §. 21 theilt die Dauer der Extensionsbewegungen in 10 gleiche Theile. In den 6 ersten Versuchsreihen variirt die Dauer der Gesammtbewegung von 0,68 bis 2,8 Secunden, also um das Vierfache; da die durchlaufenen Wege in allen Versuchsreihen annähernd gleich waren, so variiren die Geschwindigkeiten in den 6 ersten Versuchsreihen ebenfalls um das Vierfache. Die im ersten Zeitzehntel der Bewegung durchlaufenen Räume zeigen nun keine regelmässige Zu- oder Abnahme mit zunehmender Dauer der Gesammtbewegung; desshalb sind die im Ganzen nur mässige Unterschiede als zufällige zu betrachten, sodass die Annahme gerechtfertigt ist, die Anfangsgeschwindigkeiten seien proportional den wirklich erreichten, resp. den beabsichtigten mittleren Geschwindigkeiten. Aehnliche Ergebnisse liefern die zwischen 0,34 bis 2,0 Secunden Bewegungszeit variirenden 5 ersten Versuchsreihen der in Flexionen bestehenden Bewegungen der Tab. K′. Bei langsameren Bewegungen wachsen die absoluten Werthe des ersten Zeitzehntels der Bewegungszeit derartig, dass der Einfluss der Anfangszeit weniger deutlich hervortritt; gleichwohl lässt sich derselbe auch bei den langsamsten Extensionsbewegungen noch mehr oder weniger erkennen.

Leistet man in der Anfangszeit einer constanten Bewegung zu wenig, so thut man andererseits anfangs zu viel in der als beschleunigt beabsichtigten Bewegung, wie aus Tab. X′ §. 22 hervorgeht.

Die Extensionsbewegungen zeigen im letzten Zeitzehntel eine erheblich grössere Geschwindigkeit als im ersten; diese Bewegung kann also rascher gehemmt als eingeleitet werden. Bei der Mehrzahl der Flexionsbewegungen (Tab. K′) verhält es sich dagegen umgekehrt; die grössere Langsamkeit gegen das Ende der Flexionsbewegungen ist vielleicht darin begründet, dass das arretirende Moment sich desshalb stärker geltend macht, weil die Bewegung gegen unseren Körper gerichtet ist.

In Dr. Camerer's Versuchen sollten die von dem bewegten Arm zurückgelegten Räume gleich gross und nur die zur Bewegung verwandte Zeit variabel sein. Die durchlaufenen Räume fielen aber kleiner aus bei beabsichtigter grosser Geschwindigkeit, grösser bei beabsichtigter geringer Geschwindigkeit. Diese Ungleichmässigkeit wurde durch das, Anfang des §. 21 erwähnte Hülfsmittel mit dem Erfolg corrigirt, dass sie, wie die senkrechten Columnen B der Tab. I′ und K′ zeigen, nur noch in geringem Grade hervortreten; sie erklärt sich aus dem, unseren Zeitempfindungen anhaftenden constanten Fehler, der uns kleine Zeiten und Geschwindigkeiten grösser, grössere dagegen kleiner erscheinen lässt, als sie wirklich sind.

§. 33. Die Unterscheidungsempfindlichkeit für Zeitgrössen.

Die Untersuchung der Unterscheidungsempfindlichkeit muss von Bedingungen ausgehen, welche den Empfindenden zur absoluten Voraussetzungslosigkeit zwingt. Dieses wird — s. §. 7 — dadurch erreicht, dass man nicht bloss differente Zeitgrössen unterscheiden lässt, sondern auch solche Fälle einschaltet, in welchen die zu vergleichenden Zeiten wirklich gleich sind. In den §. 16 beschriebenen Versuchen über die Unterscheidungsempfindlichkeit des Gehörsinn's variiren die mit einander verglichenen Zeiten von 0 Unterschied bis zu solchen Werthen, in

welchen sämmtliche Entscheidungen ohne Ausnahme richtig ausfielen. Tabelle U stellt für jede der 6 Versuchsreihen, nach thunlichster Compensation des constanten Fehlers, die Endwerthe dar. Es kommen dabei folgende Fragen in Betracht:

I) Der Gang der Entscheidungen bei zunehmender Differenz der von einander zu unterscheidenden Zeiten. Mit zunehmender Differenz d der Zeiten nimmt die Zahl der richtigen (r) im Verhältniss zu allen (n) Urtheilen immer mehr zu. Zieht man aus den senkrechten Columnen der Tab. U die Endwerthe, so beträgt die Zahl der richtigen Entscheidungen

bei	1,8 %	Differenz	50 %
	2,8	„	60 „
	3,8	„	70 „
	4,9	„	80 „
	6,2	„	90 „
	8,5	„	100 „

Nehmen wir aus den Tabellen O bis T die richtigen Fälle bei Differenz = 0, so ergeben sich im Endmittel 34 % d. h. bei Gleichheit der mit einander zu vergleichenden Zeiten werden 34 % als gleich erkannt. In letzterer Zahl ist übrigens der constante Fehler nicht compensirt. Trägt man die obigen Werthe in ein Coordinatensystem ein, die procentigen Unterschiede der Zeiten als Abscissen, die Werthe von $\frac{r}{n}$ als Ordinaten, so erhält man eine Linie, welche von 0 bis 4,9 % Differenz gerade aufsteigt, jenseits 4,9 % bis 8,5 %, aber gegen die Abscissenaxe concav wird.

Nach der gewöhnlich geltenden, von Fechner ausführlich begründeten und in einer grossen Reihe von Versuchen über die Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede bestätigten, Annahme bleibt sich das Empfindlichkeitsmaass an einem bestimmten Punkte der Reizscala vollkommen gleich. Die Leistungen der

Unterscheidungsempfindlichkeit, d. h. das Verhältniss $\frac{r}{n}$ hängt demnach bloss von der Empfindlichkeit h und dem gegebenen Unterschied d ab und würde die experimentelle Bestimmung des $\frac{r}{n}$ für etwa zwei d genügen, um daraus h für einen bestimmten Punkt der Reizscala abzuleiten. Verfährt man in ähnlicher Weise an andern Punkten der Reizscala, so erhält man vergleichbare Ausdrücke für die Unterscheidungsempfindlichkeit innerhalb der untersuchten Empfindungsbreite.

Die Versuchsbedingungen brachten es aber mit sich, dass für jede Versuchsreihe des §. 16 eine viel grössere Anzahl von d gewählt werden musste, als zur Bestimmung des h unumgänglich nöthig wäre. Die einzelnen d enthalten demnach nur eine sehr mässige Anzahl von Einzelversuchen, sodass die erhaltenen $\frac{r}{n}$ oftmals nur sehr approximative Werthe bilden. Gleichwohl tritt der Gang der Erscheinung, d. h. die Zunahme der richtigen Entscheidungen mit zunehmender Grösse von d auch hier unverkennbar hervor und kann derselbe durch passende Correcturen mit leidlicher Sicherheit festgestellt werden. Ueberhaupt halte ich für zweckdienlicher, wenn man nicht im Falle ist, eine sehr grosse Anzahl von Einzelversuchen anzusammeln, für jede der untersuchten Einzelstellen der Reizscala eine relativ grössere Zahl von d, als nur wenige d, zu wählen. Eine Berechnung der vergleichbaren Empfindlichkeitsmaasse nach dem von Fechner (Psychophysik I, S. 108) gegebenen Verfahren ist alsdann allerdings nicht ausführbar, da die aus den verschiedenen d abgeleiteten Werthe von h innerhalb derselben Versuchsreihe unter Umständen sehr variiren.

Die einzelnen Versuchsreihen der Tabelle U zeigen bei ihrem allmähligen Wachsthum von $\frac{r}{n}$ kein übereinstimmendes Verhalten in Bezug auf d. Im Allgemeinen steigt d von einem $\frac{r}{n}$ zum anderen verhältnissmässig rascher bei schnelleren Schlagfolgen;

setzen wir die jeweilige % Differenz beider Zeiten, welche in 50 Fällen von 100 richtig erkannt wurde, = 10, so ist die % Differenz, welche immer richtig erkannt wurde, z. B. bei 42 Metronomschlägen in der Minute = 32, bei 196 Schlägen 58. Die Schlagfolge 100 macht eine auffallende Ausnahme; die Werthe von d sind zwischen $\frac{r}{n} = 50$ bis 70% sehr nieder — die niedersten der ganzen Tabelle — nehmen dann aber bedeutend zu. Ich verkenne nicht, dass die Versuche des §. 16 bei Weitem nicht zahlreich genug sind, um sichere Schlüsse über die in Rede stehende Frage zu gestatten.

II) Die Abhängigkeit der Unterscheidungsempfindlichkeit von der absoluten Grösse der Zeit. Die speciellen Leistungen der Unterscheidungsempfindlichkeit des Gehörs für Zeitgrössen sind in 4 Tabellen des §. 16 zusammengestellt; indem ich wegen der Bedeutung der Zahlen auf jene Tabellen verweise, beschränke ich mich in der folgenden Tabelle A'' auf eine vergleichende Zusammenstellung der Zahlenwerthe; letztere sind zur leichtern Vergleichung in Tabelle B'' derartig reducirt, dass die der kleinsten absoluten Zeit (0,306 Secunde) entsprechenden Werthe = 100 gesetzt sind.

Tab. A''.

Dauer eines Schlagintervalls in Sec.	aus Tabelle U	aus Tabelle X	aus Tabelle Y	aus Tabelle Z
1,428	45,8	12,0	8,0	4,6
0,833	29,9	10,3	6,4	3,6
0,600	23,5	9,0	5,3	3,7
0,454	25,3	7,4	4,5	2,4
0,365	23,7	6,8	4,0	2,4
0,306	21,2	6,4	3,9	2,5

Tab. B″.

Dauer eines Schlagintervalls in See.	aus Tabelle U	aus Tabelle X	aus Tabelle Y	aus Tabelle Z
1,428	216	187	205	184
0,833	141	161	164	144
0,600	111	141	136	148
0,454	119	115	116	96
0,365	112	106	103	96
0,306	100	100	100	100

Die Unterscheidungsempfindlichkeit des Gehörs für Zeiten ist demnach keine gleichbleibende Grösse; sie nimmt, innerhalb der von Dr. Höring untersuchten Grenzen, von der kleinsten Zeit an, anfangs langsamer, später rascher ab. Aus Tab. B″ berechnen sich im Endmittel folgende relative Werthe: 198—152—134—111—104—100; demnach ist die Unterscheidungsempfindlichkeit bei 1,4 Secunden nur halb so gross als bei 0,3 Secunde.

Aehnliche Erfahrungen machte Prof. Mach (Untersuchungen über den Zeitsinn des Ohres, in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen. Band 10. S. 181. Giessen 1866), welcher sich jedoch auf die Anwendung der Methode des eben merklichen Unterschiedes beschränkte. Dabei verzeichnete er nur solche Unterschiede als merklich, welche in «einer überwiegenden Zahl (3 : 1) von Fällen» als merklich erkannt wurden.

Aus seinen am Metronom mit 4 Personen angestellten Versuchen rechnet Mach „einige plausibele Werthe“ heraus; nämlich:

Tab. C″.

Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Erkannter Unterschied in %.	Versuche von Dr. Höring.
a) 0,300	5,0 %	3,3 %
b) 0,594	6,4	3,3
c) 0,804	8,0	4,5
d) 1,136	13,5	7,5

Zur Vergleichung sind in obiger Tabelle, aus Tabelle U die entsprechenden Entscheidungen Höring's den von Mach gegebenen Werthen gegenübergestellt. Die Zeiten a, b, c und d in Tab. C″ entsprechen in Tab. U den Metronomschlägen 196 — 100 — und annähernd 72 und 42; auch hier ist (wie bei Mach) das einem $\frac{r}{n} = 75\,\%$ entsprechende d angenommen. Die Unterscheidungsempfindlichkeit ist bei Höring etwa noch einmal so gross als bei Mach.

Ein besonders construirter Apparat gestattete Mach, seine Untersuchungen auch auf sehr kleine Zeiten auszudehnen. Er erhielt im Endmittel, bei der Zusammenstellung sämmtlicher Versuchsreihen, die nachfolgenden „plausibelen" Werthe, wobei die mit * bezeichneten, wie Mach hinzufügt, als zu klein anzusehen sind.

Tab. D″.

Dauer eines Schlagintervalls in Secunden.	Erkannter Unterschied in %.
0,016	75,0 *
0,110	49,1
0,375	5,2
0,535	5,4
1,153	6,9
4,520	9,5
8,000	9,5 *

Wegen des constanten Fehlers, der sich bei der Unterscheidung von Zeitgrössen geltend macht, verweise ich auf §. 16. Im Allgemeinen stellte sich eine Verkleinerung der zuerst gehörten Zeit heraus; indem uns von dieser ein Bruchtheil entfällt, sodass die Vergleichszeit relativ etwas vergrössert wird. Wie sich dieses Moment geltend macht, wenn die Vergleichszeit der Hauptzeit gleich oder von derselben verschieden ist, ist in §. 16 erörtert worden; jedoch bieten nicht sowohl die Tab. V, als die darauffolgenden Tabellen W und X zum Theil auch Werthe, welche mit der soeben gegebenen Erklärung nicht vereinbar sind und zur Vermuthung führen, dass die Ursachen des constanten Fehlers mit der absoluten Grösse der Zeit in einem vorerst nicht näher nachweisbaren Zusammenhang stehen.

§. 34. Empfindungsunterschied und empfundener Unterschied.

Mit zunehmender Abnahme des Unterschiedes zweier Reize fällt uns deren Unterscheidbarkeit immer weniger deutlich in's Bewusstsein und nehmen die Fälle, in welchen wir unrichtige Entscheidungen abgeben, immer mehr zu. Die Unterscheidungen welche wir machen, gehen, vom absolut Sichern, durch die verschiedensten Grade des Merklichen und theilweis Merklichen herab bis in das völlig Unmerkliche und Ununterscheidbare. Gleichwohl muss der stärkere Reiz unseren Empfindungszustand selbst dann noch stärker anregen, als der schwächere, wenn wir auch beide nicht mehr von einander unterscheiden können.

Fechner unterscheidet desshalb den empfundenen Unterschied, als mehr oder weniger deutlich in das Bewusstsein fallend, von dem blossen Empfindungsunterschied im engeren Sinne, der sich nicht bis in das Bewusstsein erhebt. Doch ist ein Unterschied der letzteren Art keineswegs so aufzufassen, als

wenn derselbe überhaupt gar nicht vorhanden wäre; denn bei einer oftmaligen Wiederholung stellt sich ein Uebergewicht der richtigen Entscheidungen zu Gunsten des grössern Reizes heraus. „Zugleich mit dem Unterschied" — sagt Fechner (Psychophysik I, S. 247) — „wirken zufällige Einflüsse, welche bei gleichen Reizen das Urtheil durchschnittlich eben so oft zu Gunsten des einen als des andern bestimmen würden. Der Unterschied fügt sich nun aber den Einflüssen, welche das Urtheil zu Gunsten des einen bestimmen, hinzu; und macht theils, dass solche Einflüsse, die ohne das unmerklich gewesen wären, merklich zu Gunsten dieser Seite werden, theils verstärkt er die schon merklichen Einflüsse nach dieser Seite und macht, dass sie die entgegengesetzten Einflüsse um so leichter überwiegen. — Man sieht auf diese Weise ein, wie ein an sich unmerklicher Unterschied dadurch, dass er sich mit anderen Einflüssen summirt, allerdings merkliche Wirkungen geben kann."

Zwischen „Empfindungsunterschieden" und „empfundenen Unterschieden" ist, glaube ich, noch ein Mittelgebiet einzuschalten, in welchem wir zwar bemerken, dass ein Unterschied vorhanden ist, aber nicht angeben können, worin derselbe besteht; also ein Gebiet halbbewusster Empfindungen. Beim sehr schnellen Lesen eines Correcturbogens z. B. bemerkt man häufig, wenn Fehler vorhanden sind, nicht aber, worin diese Fehler bestehen. Die Empfindung kommt also nur theilweis zum Bewusstsein und würde als halbbewusste verbleiben, wenn wir nicht das Wort etwas langsamer lesen würden. Beim langsamen Corrigiren sind die Druckfehler für uns durchweg „empfundene Unterschiede"; unsere Aufmerksamkeit ist aber auch stärker in Anspruch genommen; wir ermüden desshalb leichter und können sogar mehr Fehler stehen lassen, als wenn wir, das schnellste Lesen etwa zweimal wiederholend, uns zunächst nur auf halbbewusste Empfindungsunterschiede verlassen.

Ich kann, nach §. 18, an den verschieden schnellen, im buntesten Wechsel sich wiederholenden, Schlägen eines Metronoms, zwischen 40 bis über 200 Schlägen in der Minute, bloss wenige Geschwindigkeitscategorien unterscheiden, die ich als sehr langsam — langsam — mässig langsam — adäquat — mässig schnell — schnell — sehr schnell in den Einzelfällen bezeichne.

Die Empfindungen schreiten also sehr langsam weiter; sehen wir ab von den beiden extremen Geschwindigkeitscategorien, so beträgt (§. 18, Ende) das Intervall von einer Categorie zur anderen durchschnittlich 24 % des objectiven Zeitwerthes. Nach Tab. U, §. 16 beträgt die Differenz zweier Metronomschläge, welche wir immer als verschieden unterscheiden, innerhalb einer Schlagfolge von 40 bis über 200 Schlägen in der Minute, im Endmittel 8,5 %; diejenige Differenz, welche 75 % richtiger Entscheidungen ergiebt, 4,3 %; während eine Differenz von 1,8 % eben so oft richtig wie falsch unterschieden wird.

Wir sind demnach im Stande, zwei unmittelbar auf einander folgende Zeitgrössen, überhaupt zwei Reize, mit vollkommener Sicherheit von einander unterscheiden zu können, welche, wenn wir eine jede einzeln für sich empfinden, dieselbe Empfindung in uns auslösen. Zwischen dem schwächsten und dem stärksten Licht, Schall, u. s. w., zwischen dem äussersten Roth und äussersten Violett liegt für uns eine grosse Menge von, beim unmittelbaren Vergleich eben noch unterscheidbaren Lichtstärken, Schallstärken, Farbentönen u. s. w., dagegen stehen uns nur wenige Empfindungscategorien zu Gebot, wenn wir einem gegebenen Licht, einer bestimmten Schallstärke, einem bestimmten Farbenton den Ort in der ganzen Reizscala anweisen sollen. Der unmittelbare Reizunterschied fällt mit sehr viel grösserer Deutlichkeit in das Bewusstsein als die absolute Reizgrösse.

Ganz anders verhält es sich, wenn die Empfindungen viel-

fach wiederholt werden. Nach §. 18 nimmt mit zunehmender Zahl der Metronomschläge die Empfindung langsamer Schlagfolgen allmälig ab, die der schnelleren allmälig zu; und zwar so, dass von zwei Schlagfolgen, welche, unmittelbar nach einander gehört, im einzelnen Fall durchaus nicht von einander unterschieden werden können, die nur um ein Weniges schnellere im Endmittel aus zahlreichen Einzelfällen eine etwas grössere Zahl von Entscheidungen enthält, die in die schnellere Empfindungscategorie gehören, und eine etwas kleinere Zahl von Entscheidungen, die den langsameren Empfindungscategorien angehören.

Jede unserer Empfindungscategorien bewegt sich innerhalb einer grossen Breite der objectiven Reizscala; so zwar, dass von den beiden Grenzpunkten an die Häufigkeit der Empfindungen dieser Categorie immer mehr zunimmt, um in der Mitte ihrer Reizscala ein Maximum zu erreichen. Bei den mit „langsam", „mässig langsam" u. s. w. bis „schnell" bezeichneten Zeitempfindungen verhält sich das objective Minimum zum Maximum wie 1 : 2; eine und dieselbe Schlagfolge des Metronoms wird z. B. in verschiedenen Fällen bald als langsam, oder mässig langsam, oder adäquat, unter Umständen selbst als mässig schnell bezeichnet. Im Ganzen und Grossen ist aber an eine bestimmte Zeitgrösse nicht bloss eine bestimmte Zahl (in der Regel 3, seltener 4) solcher zeitlicher Empfindungscategorien geknüpft, sondern es tritt auch eine jede derselben mit einer bestimmten Häufigkeit auf, wodurch sich eben diese Zeit von einer anderen ihr sehr nachstehenden Zeit unterscheidet.

Wiederholen wir also die Empfindungen vielmals, so geht ihre Leistungsfähigkeit ausserordentlich weit; ja sie ist eine fast unbegrenzte zu nennen. Empfindungsunterschiede, die für sich im Einzelfall nicht in's Bewusstsein fallen, werden alsdann merklich; d. h. sie werden wirklich bewusste Unterschiede. Dieses wird ohne Zweifel nicht bloss der Fall sein bei vielfach

wiederholten Empfindungen einer und derselben Person; eine grössere Zahl Menschen, die z. B. in der Auffassung von Raumgrössen einigermassen geübt sind, dürfte mit dem blossen Augenschein Distanzen, wenn wir aus sämmtlichen Entscheidungen das Mittel ziehen, mit grosser Genauigkeit angeben.

§. 35. Der absichtlich hergestellte Unterschied.

Ausser der Unterscheidung objectiv gegebener Reize kommt bei der Prüfung der Unterscheidungsempfindlichkeit die weitere, meines Wissens bis jetzt noch unerörterte, übrigens nur an den extensiven Empfindungen experimentell zugängliche, Frage hinzu, wie sich die von uns absichtlich hervorgebrachten Unterschiede verhalten. Auch hier kommt es, wie bei der Auffassung von Reizunterschieden überhaupt, auf die Nebenumstände und die besonderen Versuchsbedingungen an, welche, wie bei sonst gleicher Empfindlichkeit, die wirklichen Leistungen wesentlich beherrschen.

Für uns handelt es sich also um die Aufgabe, unmittelbar nach einem so eben wahrgenommenen oder von uns selbst spontan angegebenen Zeitintervall ein anderes Intervall zu markiren, welches kleiner oder grösser sein soll. Das Mehr oder Minder lässt sich aber in verschiedenem Sinne nehmen, wodurch dem absichtlich hergestellten Unterschied ein verschiedener Grad der subjectiven Deutlichkeit und objectiven Richtigkeit gegeben wird. Je geringer dieser Unterschied werden soll, um so häufiger begehen wir Fehler bei der Herstellung desselben, d. h. wir markiren die different zu machende Zeit in einer Anzahl von Fällen z. B. kleiner als die zuerst wahrgenommene, obschon wir das Gegentheil beabsichtigen; in einer Reihe von Fällen merken wir den begangenen Fehler nicht, in anderen aber bemerken wir denselben nachträglich.

Bei den §. 17 beschriebenen Versuchen hatte ich mir die Aufgabe gestellt, die zweite Zeit von der ersten derartig different zu machen, dass ich in jedem Einzelfall die sichere Ueberzeugung hatte, die Differenz in der beabsichtigten Richtung wirklich erzielt zu haben. Gleichwohl kamen selbst unter diesen für die richtige Ausführung des Beabsichtigten so günstigen Nebenbedingungen, noch einzelne Irrthümer ausnahmsweis vor. Die auf diese Weise hergestellten, in Tabelle A′ verzeichneten Differenzen sind auffallend gross; sehr viel grösser als es nöthig wäre, um dieselben, wenn sie objectiv gegeben wären, mit vollkommener Sicherheit unter allen Umständen unterscheiden zu können. Nach Tabelle U begeht man bei 1,4 Secunden gegenüber einer Differenz von 12% der mit einander zu vergleichenden Zeiten, niemals einen Fehler; bei der absichtlich hergestellten Ungleichheit aber fällt die länger zu machende Zeit (s. erste Columne, Tabelle A′) durchschnittlich um 22% grösser, die kürzer zu machende um 18% kleiner aus; wir greifen also unter diesen Umständen weit in das sonst Uebermerkliche über. Deutlich wahrnehmbare Unterschiede erscheinen uns verhältnissmässig viel grösser als weniger deutlich wahrnehmbare, desshalb muss die deutliche willkürliche Differenzirung weit in das Uebermerkliche hereinragen.

Der unseren Zeitempfindungen anhaftende constante Fehler macht sich auch hier geltend. Bei kleinen Zeiten bis zu 2 Secunden verlängere ich (s. Tabelle A′) die länger beabsichtigte Zeit verhältnissmässig mehr, als ich die kürzer beabsichtigte verkürze; während es sich bei grösseren Zeiten umgekehrt verhält. Im Verlauf der Perception eines einige Secunden langen Zeitintervalls a entfällt mir ein Theil b der erhaltenen Eindrücke; ich reproducire also die empfundene Zeit kleiner als sie wirklich ist. Sei nun der beabsichtigte Unterschied $\pm x$, so wird $a - b + x$ vom ursprünglichen a weniger abweichen als $a - b - x$.

Hätten wir die Aufgabe, zwei unmittelbar auf einander folgende differente und von uns als different richtig erkannte Zeitgrössen sogleich zu reproduciren, so lässt sich mit Sicherheit voraussehen, dass die reproducirte Differenz grösser ausfällt als sie wirklich ist.

§. 36. Das Weber'sche Gesez.

Die den Physiologen und Physikern längst bekannte Thatsache, dass starke Reize einen absolut grösseren Zuwachs verlangen als schwache, um einen eben noch merklichen Unterschied der Empfindung auszulösen, wurde erst von E. H. Weber in ihrer principiellen Bedeutung gewürdigt und zum Ausgangspunkt benüzt für seine bahnbrechenden Versuche über das Unterscheidungsvermögen des Tastsinnes und des Raumsinnes überhaupt. Fechner verallgemeinerte die Weber'schen Erfahrungen, indem er für das gesammte Sinnesgebiet als annähernd gültige Norm den Satz aufstellte: dass der Empfindungsunterschied zwischen zwei Reizen sich gleich bleibt, wenn das Verhältniss der Reize — ihre absolute Stärke mag sein, welche sie wolle — gleich bleibt. Indem er ferner von den eben merklichen Empfindungszuwüchsen ausging und dieselben als psychische Grössen betrachtete, welche in der ganzen Ausdehnung der objectiven Reizscala als gleichwerthig anzusehen sind, wurde er auf ein rationelles, d. h. wirklich psychisches Maass der Empfindungen geführt. Dasselbe besteht in der Summirung sämmtlicher Empfindungszuwüchse, welche zwischen der minimalsten von dem eben noch merklichen, schwächsten Reiz ausgelösten Empfindung und der zu messenden Empfindung liegen. Das Fechner'sche Maass erhält seine einfachste Formulirung, wenn das von Fechner sogenannte Weber'sche Gesetz im ganzen Umfang der objectiven Reizscala gültig ist; es verliert aber auch dann nichts

an seinem principiellen Werth, und wird bloss schwieriger in Handhabung, wenn dieses Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen gilt oder wenn die Unterscheidungsempfindlichkeit überhaupt mit der objectiven Reizscala allmälig sich verändert.

Das Gesetz gilt in weitester Breite und mit vollkommener Strenge im Gebiete der Unterscheidung der Tonhöhen; weniger streng gilt es für die allertiefsten und sehr hohen Töne, bei welchen das Ohr die Intervalle weniger gut unterscheidet.

Nach Fechner bleibt sich das Unterscheidungsvermögen für Lichtstärken innerhalb sehr weiter Grenzen gleich und nimmt erst bei schwächeren Lichtmengen erheblich ab. Damit stimmen die Angaben älterer Forscher überein, sowie auch das, was eine gelegentliche Prüfung dieser Frage mit gewöhnlichen Hülfsmitteln zunächst ergibt; sobald man wohl behaupten kann, dass das Weber'sche Gesez innerhalb einer weiten Breite im Gebiete der Lichtintensitäten eine wenigstens annähernde Gültigkeit hat. Aubert, der nach schärfern Methoden experimentirte, giebt an, dass die Unterscheidungsempfindlichkeit mit zunehmender Lichtstärke wächst; bei der Helligkeit des diffusen Tageslichtes ihr Maximum erreicht, um sodann wieder abzunehmen. (S. dessen Physiologie der Netzhaut; Breslau 1865, S. 52 u. f.) Für sehr geringe Lichtstärken, bis hinauf zum 25-fachen der minimalsten, eben noch wahrnehmbaren Lichtstärke, ist nach Aubert das Unterscheidungsvermögen bloss $^1/_3$ — $^1/_8$; während das Maximum beim diffusen Tageslicht weit über $^1/_{100}$ beträgt.

Unsere wirklichen (d. h. die nicht nebenbei auch schmerzhaften) Temperaturempfindungen bewegen sich bekanntlich innerhalb enger objectiven Grenzen; nach Nothnagel zeigt die Cutis das Maximum ihrer Unterscheidungsempfindlichkeit für Temperaturgrade zwischen 22—26° R.

Das Unterscheidungsvermögen für Gewichte, wenn der Drucksinn der Haut sammt dem Muskelsinn in Anwendung genommen

wird, zeigt nach Fechner (Psychophysik Bd. I. S. 182 u. f.) zwischen 300 bis 3000 Grammen nur geringe Abweichungen, sodass eine annähernde Constanz innerhalb jener Grenzen angenommen werden darf.

Nach E. H. Weber gilt das Gesetz auch für extensive Reize, nämlich für die kleinsten wahrnehmbaren Grössenunterschiede. Nach Fechner (Psychophysik Bd. 2. S. 343) gilt es nicht im Gebiete des Tastsinnes, dagegen wurde seine Statthaftigkeit von ihm und Volkmann bestätigt im Gebiete des Augenmasses und zwar innerhalb der ziemlich weiten Grenzen von 10 bis 240 Millimeter für den Abstand der mittleren Sehweite. Bei grossen und sehr kleinen (von 5—4 Millimeter abwärts) Distanzen gilt es aber nicht mehr; die Unterscheidungsempfindlichkeit nimmt erheblich ab mit zunehmender Kleinheit der Distanz. (S. Volkmann, physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik; Leipzig 1863, Heft 1, S. 117.)

Bei unseren Zeit-Empfindungen und Wahrnehmungen bleibt, s. § 31, die Schärfe der Auffassung ebenfalls nicht gleich in der ganzen objectiven Reizscala. Von der kleinsten, von mir noch untersuchten Zeit ($^1/_5$ Secunde) an, nimmt der Fehler mit zunehmender Zeit ab; erreicht ein Minimum im Allgemeinen bei 1 — 1,5 Secunde und steigt sodann wieder. Innerhalb der von mir untersuchten Zeitbreite variirt die Grösse des verhältnissmässigen Fehlers, resp. die Schärfe der Auffassung, in den meisten Versuchsreihen etwa um das Zwei- bis Dreifache.

Zu demselben Ergebniss kamen wir bezüglich der Unterscheidungsempfindlichkeit zweier Zeitgrössen. Von 1,4 Secunden an, nach abwärts, nimmt die Empfindlichkeit allmälig zu und wird bei 0,3 Secunde noch einmal so gross als bei 1,4 Secunde. (S. Tab. U §. 16 und Tab. B'' §. 33.) Bei 0,3 Secunde scheint der Wendepunkt zu liegen, von wo an die Unterscheidungsempfindlichkeit mit weiterer Abnahme der Zeit wieder abnimmt.

Bei sehr kleinen Zeiten ($^1/_{50}$ Secunde) ist das Unterscheidungsvermögen, wie nicht anders zu erwarten war, nur noch sehr gering nach Mach; ob es aber von seinem Maximum (bei 0,37 Sec.) an so schnell sinkt, wie Mach angiebt, scheint mir zweifelhaft. Für 0,37 Sec. erhielt derselbe 5,2% erkennbaren Unterschiedes, für 0,11 Sec. nur noch 49 % (s. Tab. D″ §. 33).

Man könnte einen Widerspruch darin finden, dass das Fehlerminimum für die Auffassung der Zeit an sich bei 1—1,5 Secunden, für die Unterscheidung von Zeitgrössen aber bei 0,3 Secunde gefunden wurde. Im ersteren Falle handelt es sich ausnahmslos um die Auffassung von je einer einzigen Zeitgrösse, im letzteren Falle aber, und zwar sowohl bei unseren §. 16 beschriebenen, als auch in den meisten Mach'schen Versuchen bestanden die mit einander zu vergleichenden Zeiten je aus einer Reihe (bei uns 7) gleicher Schlagintervalle. In §. 31 glaube ich den Beweis geliefert zu haben, dass es sich — kleine Dauer des Intervall's vorausgesetzt — alsdann nicht um die Empfindung des einzelnen Intervall's sondern um eine Summirung einiger Intervalle handelt.

§. 37. Zeitliche Veränderungen des Zeitsinnes.

Die Grösse und die Genauigkeit, mit welcher wir sowohl die absolute Zeit, als den Zeitunterschied auffassen, zeigen bedeutende Schwankungen. Wir reproduciren schon innerhalb derselben Stunde eine und dieselbe empfundene Zeitgrösse in jedem Einzelfall mit grösseren oder kleineren Schwankungen nach + oder —; oder empfinden einen und denselben Zeitunterschied in sehr verschiedener Weise, indem wir in einzelnen Fällen keinen Unterschied, in anderen einen Unterschied im richtigen Sinne, in noch anderen Fällen einen solchen im falschen Sinne wahrnehmen. Nach den Erfahrungen des §. 10, Tabelle C,

wechselt die Grösse des constanten Fehlers und der Empfindlichkeit für Zeitgrössen in verschiedenen Tagen nicht unerheblich.

Dessgleichen bieten verschiedene Individuen sehr merkliche Unterschiede in der Auffassung derselben Zeit oder desselben Zeitunterschiedes; gelegentliche Beobachtungen zeigten mir, dass die Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Zeitsinnes sogar im späteren Kindesalter noch wenig entwickelt ist. Von der Untersuchung und zureichenden Erklärung sowohl der zeitlichen Variationen des Zeitsinnes bei denselben Individuen, als auch der individuellen Einflüsse musste ich von vornherein abstehen und mich begnügen, die durchschnittlichen Leistungen des Zeitsinnes auf seinen verschiedenen Gebieten vorläufig umgrenzt zu haben.

Unsere Zeitempfindungen werden, wie sich nach den Erfahrungen der allgemeinen Sinnesphysiologie erwarten lässt, wesentlich modificirt durch vorausgegangene analoge Empfindungen. Hören wir z. B. eine grössere Reihe kurzer Taktschläge, so kommt uns ein langes Intervall auffallend lang vor. Hier handelt es sich um eine Contrastempfindung, die, als unmittelbar wahrnehmbar, um so deutlicher hervortreten muss.

Aehnlich wirkenden Einflüssen sind wir aber auch im Verlauf des Tages ausgesetzt, indem die immer mehr sich anhäufenden zeitlichen Eindrücke unsere Auffassung des Zeitlichen etwas modificiren. Desshalb kommt uns, wie mir auch schon mehrfach von Anderen bestätigt wurde, sogar das Tiktak der Zimmeruhr, die Geschwindigkeit des Secundenzeigers u. s. w. in den verschiedenen Tageszeiten und an verschiedenen Tagen keineswegs genau gleichgross vor. Diese Einflüsse treten aber nicht so merklich hervor, um ohne Weiteres für Jedermann kenntlich zu werden; ihre genauere Feststellung würde lange Beobachtungsreihen erfordern, und zwar selbstverständlich an Solchen, die über das, um was es sich handelt, vorher nicht in Kenntniss zu sezen wären.

Einige vorläufige Anhaltspunkte bieten uns die über qualitative Zeitempfindungen angestellten Versuche des §. 18. Fünf Versuchstage enthalten jeweils mehrere (2—3) Versuchsreihen, die auf sehr verschiedene Tagesstunden fallen. Die nachfolgende Tabelle gibt für die einzelnen Versuchsreihen das Mittel der mit „Adäquat" bezeichneten Schlagfolgen. Die Zahlen beziehen sich auf die Metronomschläge in 1 Minute; das langsamste Adäquatmittel fällt auf 83 Schläge = 0,72 Secunde, das schnellste auf 111 Schläge = 0,54 Secunde.

Tab. E″.

	Morgenstunde bis 11 Uhr.	11 Uhr bis 4 Uhr.	Abendstunden.
Tag *a*	83	103	—
b	91	95	111
c	90	102	92
d	84	89	92
e	—	98	105

Zwischen 11—4 Uhr ist demnach der durchschnittliche Zeitwerth der Empfindungscategorie „adäquat" in allen Versuchstagen kleiner als in den Vormittagsstunden; dessgleichen ist er in den Abendstunden 3mal kleiner, und nur einmal grösser als in den Mittagsstunden.

Die stärksten Abweichungen von den durchschnittlichen Verhältnissen zeigt der Zeitsinn beim anhaltenden Nachdenken und im Traumzustand. Intensive Gedankenarbeit führt zur bedeutenden Unterschätzung der Zeit, während der Traum die entgegengesetzte Wirkung hat. Ein mit lebhaftem Traum verbundener sehr kurzer Schlaf, namentlich ein nochmaliges vorübergehendes Einschlafen am Ende der Nacht, während unsere receptiven Sinnesthätigkeiten schon eine gewisse Stärke entfalten, bringt uns eine Fülle von Anschauungen, Erlebnissen

und Gedanken, die mit der objectiven Zeit nicht selten in auffallendem Widerspruch stehen.

§. 38. Die Empfindung sehr kleiner Zeiten.

Jeder Sinnesreiz muss eine gewisse Stärke haben, um von uns überhaupt noch empfunden zu werden. Das zur Auslösung einer in's Bewusstsein fallenden Empfindung erforderliche Reizminimum, der von Fechner so genannte Schwellenwerth des Reizes, zeigt jedoch schon im gesunden Leben keineswegs einen constanten Werth, sondern in verschiedenen Individuen und bei demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten und sonst verschiedenen Umständen sehr erhebliche Schwankungen. Aehnlichen Bedingungen sind auch unsere extensiven Empfindungen unterworfen; die Reizung zweier Punkte der Netzhaut oder der allgemeinen Bedeckungen verschafft uns nur dann zwei räumlich gesonderte Empfindungen, wenn der Abstand derselben nicht unter ein gewisses Minimum sinkt; stehen sie einander noch näher, so verschmelzen die Empfindungen zu einem einzigen Eindruck. Dessgleichen verfliessen zwei, zeitlich nach einander erfolgende Reize zu einem einzigen, in seinen Componenten ununterscheidbaren Eindruck, wenn dieselben zu rasch nach einander folgen.

Die kleinsten für das Auge und den Tastsinn noch wahrnehmbaren Distanzen sind durch zahlreiche messende Versuche unter gehöriger Variation der Versuchsbedingungen festgestellt; dagegen giebt es nur sehr wenige und mehr beiläufig gemachte Angaben über den Schwellenwerth des Zeitsinnes in den einzelnen Sinnesgebieten. Nach Mach (a. a. O. S. 191) ist die kleinste noch wahrnehmbare Zeit: etwas grösser als 0,0277 Sec. für das Getast (Finger), etwas grösser als 0,0470 Sec. für das Auge und etwas kleiner als 0,016 Sec. für das Ohr. Helmholtz ver-

weist auf die „bekannte Erfahrung, dass wenn zwei Pendel neben einander schlagen, durch das Ohr unterschieden werden kann bis auf ungefähr $^1/_{100}$ Secunde, ob ihre Schläge zusammentreffen oder nicht. Das Auge würde schon bei $^1/_{24}$ Sec. oder selbst bei noch so viel grössern Bruchtheilen einer Secunde scheitern, wenn es entscheiden sollte, ob zwei Lichtblitze zusammentreffen oder nicht. Wenn aber auch das Ohr in dieser Beziehung seine Ueberlegenheit über andere Organe des Körpers erweist, so dürfen wir doch wohl nicht zögern vorauszusetzen, dass es in derselben Weise wie die anderen Nervenapparate eine Grenze der Schnelligkeit für sein Auffassungsvermögen haben wird, und wir dürfen wohl annehmen, dass wir uns dieser Grenze nähern, wenn wir 132 Schwebungen in der Secunde nur schwach unterscheiden können.“ (S. die Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig 1863, S. 261.)

Bei der vorliegenden Frage sind offenbar die Nebenbedingungen der angewandten Versuchsmethoden von grösstem Einfluss auf die Versuchsresultate. Unterscheidet unser Gehörorgan bis zu 132 Schwebungen in der Secunde, so darf daraus noch keineswegs gefolgert werden und ist auch meines Wissens nicht ausdrücklich behauptet worden, dass wir wirklich im Stande seien, diese Ungleichheiten sämmtlich und ohne auch nur eine einzige auszulassen, wahrzunehmen.

Die interessanten Versuche Valentin's über die Dauer der Tasteindrücke (Archiv für physiologische Heilkunde; 1852, S. 438) geben einen weiteren Beleg für meine Behauptung. Derselbe prüfte die qualitativ so sehr verschiedenen Tasteindrücke, welche wir empfinden, wenn die Zähne einer mit beliebiger Geschwindigkeit drehbaren Scheibe in mehr oder weniger schnellem Wechsel an eine bestimmte Cutisstelle z. B. die Fingerspitze anstossen. Von einer bestimmten Geschwindigkeit der Stösse an — leider macht Valentin hierüber keine Angaben — sind wir nicht

mehr befähigt, die einzelnen Stösse zu zählen; aber die Empfindung successiver Ungleichheiten: der Berührung nämlich und der Pause, des Stosses und der Ruhe, hält mit zunehmender Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe noch lange an, indem 480 bis selbst 640 Eindrücke in der Secunde durchaus noch nicht zu einer gleichartigen Empfindung verschmelzen, sondern die Empfindung des „Zahnigen" geben. Wird die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe noch mehr gesteigert, so entstehen, wie Valentin sich ausdrückt, „minder ungleiche" Empfindungen, die dem Rauhen oder Wolligen zu vergleichen sind. Erst bei sehr grosser Drehungsgeschwindigkeit verschaffen die Zähne der Scheibe einen vollkommen continuirlichen Eindruck, d. h. die Empfindungen des Glatten und Polirten.

Die Annahme, dass 132 Schwebungen der Töne, 400 bis über 600 Ungleichheiten von Tasteindrücken in der Secunde wirklich in unser Bewusstsein fallen, dürfte schon von psychologischer Seite auf erhebliche Zweifel stossen; ihre Unwahrscheinlichkeit lässt sich aber mit unzweideutigeren, physiologischen Gründen darthun. Der Weg von der Fingerspitze bis zum Gehirn ist auf mindestens 1 Meter anzuschlagen; dieser Weg würde zurückgelegt in weniger als $^1/_{600}$ Secunde, was eine Secundengeschwindigkeit der Nervenleitung von mehr als 600 Metern ergeben würde. Diese Zahl ist aber gänzlich unvereinbar mit den direkten Messungen über die Geschwindigkeit der Nervenleitung in Warmblütern — welche durchschnittlich etwas über 30 Meter in der Secunde beträgt —, wesshalb sich die Annahme nicht aufrecht erhalten lässt, dass unser bewusster Empfindungszustand mit den so schnell wechselnden objectiven Reizen wirklich gleichen Schritt halten könne. Beim Valentin'schen Versuch kommen also von den vielen Tasteindrücken, die wir empfangen, bei weitem nicht alle zur Perception; oder wohl richtiger, es verbinden sich je eine Anzahl von Empfindungen

der Berührung und der Pause zu einer Gesammtempfindung; desshalb kann die Dauer der Einzeleindrücke nicht benützt werden zur Bestimmung der Dauer der kürzesten Empfindung.

Die Einwände, dass, wenn wir bloss gewisse Empfindungen beachten, die unbeachteten Eindrücke gleichwohl nicht wirkungslos vorübergehen können, oder dass mit der viel plausibeleren Annahme eines Zusammenfassens mehrerer Stösse und Pausen zu einem Eindruck die Möglichkeit des Zustandekommens einer Ungleichförmigkeit der Empfindung bei schneller Drehung der Tastscheibe nicht gut einzusehen sei, bieten keine erheblichen Schwierigkeiten. Nehmen wir z. B. an, eine Perception sei aus je 5 Eindrücken zusammengesetzt, so erhalten wir für die erste Perception 3 Stösse und 2 Pausen; für die zweite Perception aber 3 Pausen und 2 Stösse, also eine bedeutende Ungleichheit. Letztere ist allerdings nicht vergleichbar mit dem Contrast zwischen Stoss und Pause; dem entspricht aber auch die Erfahrung, dass bei zunehmend schnellerer Drehung der Scheibe die Contraste zwischen Berührung und Pause immer mehr zurücktreten, d. h. dass die Empfindungen immer weniger ungleich werden. Der Eindruck des Continuirlichen beginnt demnach da, wo die Ungleichmässigkeit der successiven Empfindungen nicht mehr bemerkt wird.

Unser Auffassungsvermögen für Zeitminima ist zunächst desshalb beschränkt, weil die Perception an sich, als psychische Grösse, sei dieselbe noch so elementarer Natur, eine gewisse kleine Zeit beansprucht. Zwei, jeweils momentane, Eindrücke müssten desshalb, um von einander getrennt empfunden zu werden, einen zeitlichen Abstand von mindestens der doppelten Perceptionsdauer haben; denn zwischen dem Ende der ersten und dem Beginne der zweiten Perception muss ein Intervall liegen für die Perception des Ruhezustandes. Dazu kommt aber noch der Einfluss der Nachempfindung, welche die Auf-

fassung kleinster Zeiten in hohem Grade beeinflusst. Jeder Reiz, sei er noch so momentan und kurz abgebrochen, hinterlässt eine Nachempfindung, deren Dauer, namentlich bei den Gesichtsempfindungen, relativ gross ist. Kommt die Wirkung des neuen Reizes zum Bewusstsein, wenn die Nachempfindung noch eine gewisse Stärke hat, so müssen beide Empfindungen in Eins verschmelzen.

Die Dauer einer elementaren Perception konnte bis jetzt noch nicht bestimmt werden und hat auch der neueste Experimentator über diese Frage, Wundt, seine in der deutschen Clinik, 1866, Nr. 9, hierüber gemachten Angaben in der Vierteljahrschrift für Psychiatrie, Psychologie und gerichtliche Medicin, 1867, S. 65, wieder zurückgenommen.

Der störende Einfluss der Nachempfindung lässt sich wohl beseitigen, wenn wir uns an zwei verschiedene, aber sonst möglichst gleich empfindliche Stellen eines mit Raumsinn begabten Sinnesorganes halten. Bekommen zwei symmetrische Stellen z. B. der rechten und linken Hand, oder zwei benachbarte Stellen desselben Cutisbezirkes je einen momentanen Eindruck, so ist wohl anzunehmen, dass die Fortleitungsgeschwindigkeit durch die Aufnahmsapparate des Reizes und durch die Nervenbahnen bis zum Gehirn in beiden Fällen gleich ist. Bei zu schneller Aufeinanderfolge beider Reize wird der Zeitunterschied für uns verschwinden; eine etwas grössere Langsamkeit wird sowohl ununterscheidbare, als falsche und richtige Entscheidungen hervorrufen; letztere aber werden um so mehr zunehmen, je grösser das Zeitintervall wird zwischen dem Beginn beider Eindrücke.

Wenn die in §. 27 gegebene Erklärung der scheinbaren Verschmälerung schnell bewegter Gegenstände durch weitere Variation der Versuchsbedingungen bestätigt wird, so wird die (etwas zu gross auf 0,041 Secunde bestimmte) Zeitdauer des

an jenem Ort so genannten „Einzeleindruckes“ als Mass für die kleinste „sichtbare Zeit“ zu betrachten sein. Die Versuchsbedingungen sind, wie a. a. O. erörtert wurde, von der Art, dass die Nachdauer der Empfindungen, obschon sie nicht auszuschliessen ist, als solche bei dem Endresultat gar nicht in Betracht kommt.

Dem unseren Zeitempfindungen anhaftenden constanten Fehler gemäss muss die minimalste Zeitempfindung grösser sein als die entsprechende objective Zeit; da nun die Vergrösserung bei $^1/_2$ Secunde schon $^1/_4$ beträgt und die subjective Vergrösserung vom Indifferenzpunkt nach abwärts verhältnissmässig immer mehr zunimmt, so ist vorauszusehen, dass dieselbe bei sehr kleinen Zeiten einen enormen verhältnissmässigen Werth annimmt.

§. 39. Organische Bedingungen der Zeitempfindungen.

Die mit Raumsinn begabten Sinnesorgane sind mit bestimmten Einrichtungen der Zuleitungsapparate und des Sinnesnerven selbst ausgestattet, welche die Auffassung des räumlichen Nebeneinanderseins der Reize dadurch ermöglichen, dass sie für eine richtige räumliche Anbringungsweise eben dieser Reize sorgen. Zur Wahrnehmung der zeitlichen Verhältnisse der Reize sind dagegen sämmtliche Einzelsinne mehr oder weniger befähigt; der Zeitsinn verdient demnach in viel höherem Grade als der Raumsinn die Bezeichnung eines Generalsinnes.

Die Empfindungen gelangen nach ihren zeitlichen Beziehungen mit einer Genauigkeit in unser Bewusstsein, welche vollständig hinreicht, wenigstens für den gewöhnlichen praktischen Gebrauch, den wir von den Sinnen zu machen pflegen. Die richtige Auffassung der Zeitverhältnisse der Reize wird ermöglicht: 1) vermöge einer hinreichenden Geschwindigkeit der Fortleitung sowohl der Reize durch die Zuleitungsapparate zu den Sinnes-

nerven, als auch der Erregung innerhalb der Nerven; 2) durch ein der Dauer des Reizes annähernd entsprechendes Fortbestehen der Nervenerregung und 3) das gehörig rasche Zustandekommen der Perception selbst.

Die Zeit, welche verstreicht zwischen dem Auftreten eines momentanen Sinnesreizes und dem Signalisiren der stattfindenden Empfindung, die von den Astronomen so genannte „physiologische Zeit" ist in den letzten Jahren namentlich von Hirsch, Kohlrausch, Schelske, de Jaager und Hankel unter Anwendung genauer chronoscopischer Hülfsmittel bestimmt worden. Der Astronom Hirsch (Moleschott's Untersuchungen, 9. Bd. S. 183) erhielt für seine eigene physiologische Zeit 0,149 Secunde (Gehör) — 0,200 (Sehen eines Funkens) — und 0,182 Sec. (Getast der linken Hand). Auch bei Hankel (Poggendorff's Annalen, 1867, Bd. 132, S. 134) steht das Gehör mit 0,1505 Sec. oben an; das Getast (Wahrnehmung eines Stosses gegen den Vorderarm) zeigte einen nur wenig höheren Werth; die längste Zeit brauchte wiederum der Gesichtssinn, bei welchem ausserdem, nach Hankel, die Unsicherheit der einzelnen Beobachtungen viel grösser ist als beim Hören *).

Halten wir uns an das Gehör, als den bevorzugtesten zeitlichen Sinn, so betrug die physiologische Zeit im Endmittel bei den 6 Versuchspersonen Hirsch's: 0,1490 — 0,1584 — 0,1620 — 0,2015 — 0,2432 — 0,2433; bei den 3 Versuchspersonen Hankel's 0,1505 — 0,1747 — und 0,1888 Secunde. Zum Signalisiren benützt man eine kleine Fingerbewegung. Wollte man die für das Signalgeben nöthige Zeit (innerhalb welcher sowohl die Willensintention, als die Leitung in den motorischen Nervenbahnen und der Beginn der Muskelcontraction stattzufinden hat) mit etwa $^1/_{10}$ Secunde nach Helmholtz in Abrechnung brin-

*) v. Wittich erhielt für das Gesicht 0,194, das Gehör 0,170, das Getast (Stirnhaut) 0,130 Secunde.

gen, so würde, bei den bevorzugtesten Personen, die Wahrnehmung des Sinnesreizes durch Gehör und Getast etwa nach 0,05 Secunde erfolgen, wogegen für das Auge nahezu der doppelte Werth anzunehmen wäre.

Erheblich kleinere Werthe nimmt die physiologische Zeit an, wenn es sich um Signalisirung eines bestimmten, vorher erwarteten, Zeitpunkts während der unausgesetzten Beobachtung eines Phänomens handelt. Versuchte Hirsch, den Augenblick zu erfassen, wo der schnell bewegte untere Zeiger des Wheatstone-Hipp'schen Chronoscopes an einer bestimmten Stelle des Zifferblattes vorbeigieng, so brauchte er dazu durchschnittlich bloss 0,077 Secunde, eine fast dreimal kleinere Zeit als bei der Wahrnehmung eines plötzlichen Lichtpunktes. Mit Recht vermuthet Hirsch, dass man bei der Beobachtung eines in Bewegung begriffenen Körpers den Augenblick, um den es sich handelt, gewissermassen anticipirt, woher es auch kommt, dass die den Einzelbeobachtungen anhaftenden Fehler erheblich grösser ausfallen als beim Signalisiren plötzlicher Eindrücke. Demnach wird auch zu erwarten sein, dass z. B. das plötzliche Aufhören der Bewegung eines Körpers längs einer bestimmten Hautstrecke, oder eines continuirlichen Tons u. s. w. schneller von uns signalisirt werde, als eine plötzliche Berührung der Haut oder ein momentanes Geräusch.

Die oben angegebenen Bestimmungen der physiologischen Zeit beziehen sich auf den Fall, dass die Versuchsperson auf das Eintreten des plötzlichen Eindruckes vorher nicht ausdrücklich aufmerksam gemacht wird, jedoch über die Stelle, wo der Reiz einwirken soll, unterrichtet ist. In einer Versuchsreihe Jaager's handelte es sich um die Aufgabe, die stattgehabte Reizung einer Hautstelle am linken oder rechten Knöchel durch eine Handbewegung der entsprechenden Seite zu signalisiren. War die gereizte Körperseite vorher bekannt, so betrug die physiologische

Zeit rechterseits 0,203, linkerseits 0,206 Secunde. War aber die gereizte Körperseite nicht bekannt, so erhöhte sich der Zeitwerth auf 0,272 Secunde. Hatte der Beobachter die Wahrnehmung eines plötzlichen rothen Lichtes mit der einen, die eines weissen Lichtes mit der andern Hand zu signalisiren, so erhöhte sich die physiologische Zeit auf 0,356 Secunde, während die Signalisirung eines plötzlichen Lichtes, dessen Farbe aber vorher bekannt war, bloss 0,184 Secunde verlangte. Dieser grosse Unterschied lässt sich ohne Zweifel durch Uebung vermindern; er hängt, wie Jaager hervorhebt, zum Theil auch davon ab, dass zur Signalisirung des Eindruckes ein conventionelles, gänzlich willkürliches Zeichen gewählt werden musste.

Wurden dagegen natürliche Signale angewandt, z. B. eine vorgesprochene kurze Silbe, die sogleich nach dem Hören wiederholt werden sollte, so signalisirte Donders um 0,180 Sec., Jaager um 0,250 bis 0,226 Sec. zu spät, wenn die Silbe vorher bekannt war; war aber letzteres nicht der Fall, so brauchte man zum Signalisiren eine bloss um 0,088 Sec. grössere Zeit. Die Zeit der „Ueberlegung“ ist in letzteren Versuchen desshalb viel kürzer, weil — im Gegensatz zu den Sehversuchen — natürliche Signale angewandt wurden.

Die physiologische Zeit zeigt Verschiedenheiten nicht bloss bei verschiedenen Individuen, sondern auch bei Einem und Demselben in verschiedenen Zeiten. Die Astronomen haben bei der Beobachtung der Sterndurchgänge an den Fäden der Fernröhren schon längst die Erfahrung gemacht, dass die kleine Zeit (etwa $^1/_9$ Sec.), welche man durchschnittlich braucht, um den Moment des bemerkten Sterndurchganges zu signalisiren, derartige Schwankungen wirklich zeigt.

Mit diesen Zeitbestimmungen ist der erste Anfang gemacht zu Versuchen, welche in das Gebiet des psychologischen Experimentes, von einer neuen Seite her, direkt einführen.

Handelt es sich doch nicht bloss um die Zeiten, welche die Fortpflanzung der Nervenerregung im Sinnesnerven und in den motorischen Leitbahnen, sowie die Einleitung der Muskelverkürzung in Anspruch nehmen, also um rein physiologische Fragen, sondern um Aufgaben psychischer Natur, d. h. die Bestimmung der kürzesten Dauer sowohl der Perception als des Zustandekommens des Willensbefehles. Nur untergeordnet wäre die Bedeutung solcher Versuche, wenn dieselbe bloss zur Kenntnissnahme gewisser psychischer Constanten führen könnten; sie tragen aber im Gegentheil schon von vornherein die nöthigen Bedingungen in sich, um dieselben einigermassen variiren und auf einfache Fragen eine einfache und unzweideutige Antwort erhalten zu können. Wir werden demnach von der weiteren Verfolgung des kaum erst betretenen Weges schon in den nächsten Jahren bedeutende Resultate erwarten dürfen.

§. 40. Discontinuität der Zeitempfindung.

Die empirische Psychologie, wenn sie dem Namen getreu bleiben wollte, den sie sich beilegt, hatte sich lediglich zu beschränken auf die äusserlich wahrnehmbaren Leistungen der psychischen Thätigkeiten, wie dieselben als Endergebnisse unbekannter Processe erfahrungsgemäss in die Erscheinung treten. Sind doch eben diese Leistungen, in der Mannigfaltigkeit und Breite ihrer Erscheinungsformen, schon an und für sich inhaltreich genug, um ihre Darstellung von fertig gebildeten und zum Voraus in dieselbe hineingetragenen Grundanschauungen über das Wesen der Seele, oder von jeder sonstigen, aus dem faktischen Thatbestand nicht mit zwingender Nothwendigkeit sich ergebenden Ableitung, frei halten zu können.

Eine derartige Entsagung unter allen Umständen zu fordern — so wohl begründet dieselbe zunächst auch sein mag

im Interesse der positiven Wissenschaft — wäre übrigens, selbst vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus, eine ungerechtfertigte Zumuthung. Wenn der Naturforscher kein Bedenken trägt, sich Vorstellungen zu bilden über das Wesen der Materie und die Grundkräfte der Natur, so darf er seinerseits auch die Speculationen nicht unbedingt tadeln, welche der Philosoph über das Psychische und dessen Beziehungen zur materiellen Welt anzustellen gewohnt ist. Die Speculation über jene Grundfragen der Naturwissenschaft und der Philosophie hat ihre Berechtigung allerdings einzig und allein in einem unabweisbaren Bedürfniss unseres Geistes, welches auch diese Erörterungen nicht gänzlich von der Hand weisen lässt; für die reelle Einsicht in das Wesen der Dinge ist sie freilich bedeutungslos gewesen.

Eine in der Gegenwart häufig und dringend gestellte Forderung verlangt die Anwendung der Methoden der beobachtenden und experimentirenden Naturwissenschaften auch in dem engeren psychologischen Gebiet, die Herstellung einer „physiologischen“ Psychologie, ein Ansinnen, das freilich sehr viel leichter hingestellt, als durch sofortige positive Specialforschungen befriedigt werden kann.

Dem Studium einer verwickelten Naturerscheinung muss bekanntlich die Erforschung der einzelnen Eigenschaften und Merkmale derselben vorangehen. Dann erst gelingt es, die Veränderung zu ermitteln, welche diese Eigenschaften zeigen unter verschiedenen, das Phänomen überhaupt zu Stande bringenden Bedingungen, mit einem Wort, das „Gesetz der Erscheinung“ festzustellen, welches in nichts Anderem besteht als in der Erkenntniss der Abhängigkeit der Erscheinung von ihren nächsten, reellen Ursachen.

Genau dieselbe Methode ist auch der physiologischen Psychologie vorgezeichnet, wobei es sich aber von selbst versteht,

dass dieselbe, angesichts der ungewöhnlichen Schwierigkeiten des Gegenstandes, bei der erstgenannten jener beiden Aufgaben vorläufig Halt zu machen hat. Es handelt sich demnach nicht etwa um die Inbetrachtnahme der psychischen Specialleistungen, die, als Ganzes fertig in die Erscheinung tretend und der Wissenschaft längst bekannt, sich unmöglich neue Seiten abgewinnen lassen, sondern um Aufsuchung von, wenn irgend thunlich, messbaren Einzelqualitäten, die gewissen oder selbst allen psychischen Erscheinungen gemeinsam sind.

Dass diese Eigenschaften vorzugsweise im Gebiete der Sinnesphysiologie, der wichtigsten und am Weitesten vorgeschrittenen Hülfswissenschaft der Psychologie, aufzusuchen sind und bisher mit Erfolg aufgesucht wurden, versteht sich von selbst; es bietet in der That der nachweisbare Zusammenhang zwischen den leicht messbaren Sinnesreizen und den unter gewissen Voraussetzungen ebenfalls messbaren Empfindungen alle Vorbedingungen zur Untersuchung der hier zunächst zu lösenden Fragen. Werden dagegen solche Untersuchungen in der Absicht unternommen, Aufschlüsse über die innere Natur und Wesenheit des Psychischen zu gewinnen, so muss sich eine solche naive Erwartung allerdings jedesmal gründlich enttäuscht sehen.

Eigenschaften des Psychischen aufzufinden und dieselben in variirenden Versuchen und Beobachtungen, wo möglich messend, weiter zu verfolgen, das ist die positive, lösbare und dankbare Aufgabe der heutigen physiologischen Psychologie.

Zu den am Besten constatirbaren und eine Reihe weiterer Folgerungen in sich bergenden Eigenschaften gehört die Discontinuität der Processe, welche den psychischen Leistungen zu Grunde liegen. Nun bestehen schon die Sinnesreize — objectiv und an und für sich genommen — in Vorgängen discontinuirlicher Natur, in periodisch sich wiederholenden Schwingungen, die von einem unendlich kleinen Zeittheilchen zum anderen ihre Rich-

tung und Geschwindigkeit abändern, und somit in ihren Einzelphasen die grössten Intensitätsunterschiede bieten. Diese Bewegungen erfolgen aber in der Regel mit einer unendlich grossen Geschwindigkeit; wir haben es also mit Zeiten zu thun, deren Dauer verschwindend klein ist gegenüber der zur Fortleitung der Reizung innerhalb des Sinnesnerven und zum Zustandekommen selbst der momentansten Perception erforderlichen Zeit. Wenn nun während der Dauer der kürzesten Perception ein und derselbe Sinnesreiz eine grosse oder unendlich grosse Zahl differenter Intensitätszustände bietet, so muss jedweder objective Reiz in uns eine continuirliche, in ihrer Stärke sich gleich bleibende, Empfindung auslösen. Unserem Empfindungszustand gegenüber sind also die Sinnesreize als vollkommen continuirliche und constante Grössen anzusehen.

Die Empfindung ihrerseits, obschon sie uns ihrem Inhalt nach als ein durchaus Continuirliches und ungestört Fliessendes erscheint, besteht aber keineswegs aus psychischen Vorgängen, die sich beständig auf gleicher Höhe erhalten, sondern aus einer Reihe von Einzelacten, von elementaren Empfindungen, die nach relativ grossen Zeitintervallen aufeinander folgen. Die gewöhnliche Anbringungsweise der Sinnesreize giebt uns freilich keine Anhaltspunkte zur Beantwortung der Frage, wie viele solcher Einzelacte in eine specifische Empfindung von gegebener Dauer fallen. Ebensowenig lässt sich aus den mit den Empfindungen sich verknüpfenden Urtheilen, aus unserer Wahrnehmung z. B. von Bewegungszuständen, irgend etwas folgern über die Zahl der Einzelperceptionen, welche wir im Verlauf der beobachteten Bewegung der Reihe nach gehabt haben. Dass aber diese Zahl eine relativ kleine sein müsse, dass wir einen schnell bewegten Gegenstand nicht in allen Raumpunkten, die derselbe der Reihe nach einnimmt, wirklich wahrnehmen, das versteht sich von selbst. Dessgleichen birgt eine gehabte ausschliessliche Raumanschauung,

die Wahrnehmung z. B. eines ruhenden Körpers nichts in sich, was uns könnte Aufschluss geben über die Zahl der dabei stattfindenden Elementarwahrnehmungen. In der bekannten Vorrichtung des Thaumatrop's sind auf beiden Seiten einer Scheibe differente Bilder angebracht; wird die Scheibe so gedreht, dass beide Bilder in gehörig schneller Wechselfolge gesehen werden, so entsteht, vermöge der Nachdauer der Netzhauteindrücke, eine continuirliche Empfindung, welche beide Bilder zu einem Ganzen verbindet. Dabei bleibt es aber wiederum unentschieden, aus wie vielen successiven Elementarempfindungen die Wahrnehmung jedes Einzelbildes zusammengesetzt ist.

Eine, wie ich glaube unzweideutige, Antwort auf die vorliegende Frage geben aber die Erfahrungen an der stroboskopischen Scheibe, welche nicht etwa bloss die Nachdauer des Netzhauteindruckes auch ihrerseits bestätigen, sondern weiter gehende Ableitungen zulassen. Die Nachdauer der Nervenerregung — so wichtig dieselbe auch ist als physiologische Grundbedingung der continuirlichen Empfindungen — reicht nicht aus zur Erklärung der Continuität unserer Bewegungswahrnehmungen.

Fertigt man von einem, eine periodische Bewegung ausführenden Körper eine Anzahl von Bildern, deren jedes einem bestimmten Zeitpunkt der Bewegung entspricht, so erhält man mittels der stroboskopischen Scheibe den Eindruck einer continuirlichen Bewegung des Gegenstandes, wenn — unter hier nicht näher zu erörternden bekannten Versuchsbedingungen — die Einzelbilder in gehörig schneller Aufeinanderfolge dem Auge vorgeführt werden. Etwa 8 derartige Zeichnungen genügen bereits zur Darstellung einer nicht bloss ausgiebigen, sondern auch vollkommen stetigen Bewegung.

Die Dauer der objectiven Sichtbarkeit der stroboskopischen Bilder ist sehr viel kleiner als die Dauer ihrer Nichtsichtbarkeit; wogegen bei unseren gewöhnlichen Bewegungswahrneh-

mungen der bewegte Körper unausgesetzt im Sehfeld sich befindet. Dieser Unterschied ist aber von keiner Erheblichkeit in Bezug auf die von uns zu machende Ableitung. Wenn nämlich die bildliche Darstellung von nur wenigen Phasen einer Bewegung hinreicht, um mittelst des Stroboscopes eine vollkommen continuirliche Bewegungsempfindung zu erhalten, so dürfen wir mit allem Rechte schliessen, dass auch bei unseren gewöhnlichen Bewegungswahrnehmungen der bewegte Körper mit nur wenigen Phasen seiner Bewegung successiv in unser Bewusstsein zu fallen braucht und zwar selbst dann, wenn wir unsere Aufmerksamkeit ausschliesslich auf den Gegenstand lenken.

Der bewegte Körper kann aber auch von uns überhaupt bloss an einzelnen Punkten seiner Bahn der Reihe nach wahrgenommen werden, weil wir während der ganzen Dauer seiner Bewegung nur zu einer beschränkten Zahl von Perceptionen überhaupt befähigt sind. Da nun jede Perception eine gewisse kleine Zeit beansprucht, so muss der bewegte Körper jeweils nur an denjenigen Stellen des Raumes für uns merklich werden, die er gerade einnimmt, wenn die frühere Perception abgelaufen ist. Wir messen also einen in gehörig schneller Bewegung befindlichen Körper nur an relativ wenigen Raumpunkten und sind nicht befähigt, von den Zwischenpunkten unmittelbar Notiz zu nehmen. Der etwaige Einwand, die Zwischenpunkte könnten vermöge der Nachdauer der Netzhauteindrücke, nachträglich noch in's Bewusstsein fallen, kann nicht von Belang sein, denn eine solche nachträgliche Berücksichtigung des früher unbemerkt Gebliebenen müsste die Auffassung der gegenwärtigen Bewegungsphase stören.

Zwischen dem angestrengten Zuwenden unserer Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Sinnesreiz und der Unaufmerksamkeit gegenüber anderen, gleichzeitig auf uns wirkenden

Sinnesreizen besteht, näher betrachtet, nur ein quantitativer Unterschied. Zahlreiche Vorgänge unserer unmittelbaren Umgebung gehen, trotz der Erregungen, die sie in den sensuellen Nerven und deren cerebralen Centralorganen auslösen, unbemerkt oder nur halbbemerkt an uns vorüber; aber auch das, was von uns bemerkt wird oder selbst ausschliesslich bemerkt werden will, fällt nur fragmentarisch in unser Bewusstsein. Die Fragmente genügen aber vollkommen, um zur stetigen Empfindung und Wahrnehmung combinirt zu werden. Die stroboskopische Scheibe mit ihren räumlich lückenhaften und zeitlich unstetigen Reizen ist demnach ein vollgültiger Beweis, dass der Continuität unserer Empfindungen und sinnlichen Wahrnehmungen psychische Akte von durchaus discontinuirlicher Natur zu Grunde liegen.

Wenn aber bei einem, in rascher Veränderung begriffenen Gegenstand relativ wenige seiner unendlich vielen successiven Uebergangszustände hinreichen, um in uns die Empfindung der vollkommenen Stetigkeit der Veränderung auszulösen, so werden auch bei einem gleichbleibenden Reiz, bei einem unveränderten Zustand des Objectes, verhältnissmässig wenige successive Einzelimpressionen genügen, um die Empfindung auf gleicher Höhe und in vollständiger Continuität beibehalten zu können.

Vollkommen continuirlich wird am Stroboskop die Bewegungsempfindung bereits dann, wenn die Einzelbilder je nach etwa $^1/_7$ bis $^1/_8$ Secunde auf einander folgen; in Zeitintervallen von so erheblicher Grösse sind wir aber zu mehr als bloss Einer Perception befähigt. Indem wir auf diese Weise instinctiv unsere Aufmerksamkeit nicht bis zum Maximum steigern, sind wir einer frühzeitigen Ermüdung viel weniger ausgesetzt, insofern die zu rasche Aufeinanderfolge gleicher, oder doch enge zusammengehöriger Perceptionen unser Auffassungsvermögen schnell abstumpft. Folgen die Einzelperceptionen so langsam aufeinander, dass eine jede für sich, gleichsam von Null an, auf's

Neue beginnt, so scheint die ihr zu Grunde liegende psychische Bewegung eine viel grössere Intensität erreichen zu können.

Wenn wir eine vollkommen continuirliche Sinneswahrnehmung durch möglichst wenige Einzelperceptionen zu Stande bringen, so erreichen wir den weiteren Vortheil, auch gegen solche Sinnesreize, die wir nicht ausdrücklich beachten, nicht vollständig abgeschlossen zu sein; wir verbinden also mit dem maximalen psychischen Nutzeffect, den der Gegenstand unserer jeweiligen Wahrnehmung in uns hervorbringt, noch die weitere Fähigkeit, unsere Sinnlichkeit für möglichst viele andere Eindrücke offen halten zu können.

§. 41. Die Entstehung der Zeitempfindung.

Sollte eine positive Beantwortung der viel discutirten Frage, die uns in diesem §. schliesslich noch beschäftigt, der Wissenschaft jemals möglich werden, so würde das zu nichts Geringerem führen, als zur Erkenntniss der Natur und Wesenheit der Seele und ihrer Wechselbeziehungen zur Nerven- und Muskelthätigkeit; denn, die allmälige Entstehung der Zeit-Empfindungen und Wahrnehmungen begreifen, heisst nichts anderes, als die Psyche von ihren ersten Regungen an genetisch construiren. Die Erörterung hat sich also nothgedrungen auf das zu beschränken, was an unserer Frage wirklich lösbar ist, auf die Untersuchung nämlich der äusseren Bedingungen, durch welche ein, mit gewissen rudimentären, an sich jedoch völlig unerklärbaren psychischen Anlagen und Eigenschaften ausgestatteter Organismus zur allmäligen Unterscheidung seines Ich's von der Aussenwelt und zur Kenntniss der räumlichen und zeitlichen Beziehungen eben der Dinge dieser Aussenwelt gelangt. Dass Untersuchungen der Art, wenn sie sich nicht gleich von Anfang an künstliche Schwierigkeiten bereiten wollen, zunächst

vom physiologischen Standpunkt ausgehen und mit physiologischen Argumenten operiren müssen, das liegt in der Natur der Aufgaben, um die es sich hier handelt. Nach dem nothwendig sodann zu machenden Uebergang auf das eigentlich psychologische Gebiet wird aber immer die Erörterung früher oder später — wenn sie über die vorhandenen Schwierigkeiten nicht etwa absichtlich und oberflächlich hinweggehen will — stehen bleiben müssen bei gewissen Qualitäten des Psychischen, welche — betrachte man sie als angeborene oder als unerklärbare — der weiteren Discussion eine Grenze sezen.

Wir weisen den Sinnesreizen, wenn sie bewusste Empfindungen in uns auslösen, ihre richtige Stellung an im Raum und in der Zeit; wir nehmen die Dinge neben und nach einander wahr und sind selbst im Stande, die Grösse ihrer räumlichen und zeitlichen Zwischenräume zu messen. Ursprünglich aber vermitteln unsere objectiven Sinne weder Raum- noch Zeitwahrnehmungen; die Reizung eines bestimmten Punktes der Netzhaut oder der allgemeinen Bedeckungen, sowie die Erregungen der sensibelen Nerven überhaupt, sie werden an und für sich durchaus nicht bezogen auf einen bestimmten Ort der Aussenwelt. Die Empfindungen, als blosse Seeleneindrücke, enthalten demnach an und für sich durchaus Nichts, was Aufschluss geben könnte, ob sie herrühren von einer äusseren, oder einer inneren im Körper selbst liegenden Ursache.

Das räumliche und zeitliche Localisiren der objectiven Empfindungen liegt somit vollkommen ausserhalb der Sphäre der eigentlichen Sinnlichkeit, indem es ausschliesslich auf einem Urtheilsact beruht, der freilich bei den geschulten Sinnen des Erwachsenen so schnell und so gewohnheitsmässig von Statten geht, dass er in der Regel gar nicht zum Bewusstsein kommt. Eine solche Fertigkeit kann aber nur durch lange Uebung gewonnen werden. Diese Uebung kann selbstverständlich, anfangs

wenigstens, keine beabsichtigte sein; denn, wäre sie eine solche, so würde das kleine Kind den Unterschied bereits kennen zwischen seinem Ich und der Aussenwelt. Es ist ein Fehler, der bei manchen, sowohl vom physiologischen als psychologischen Boden ausgegangenen Untersuchungen unserer Frage, in grösserem oder geringerem Grade, unwillkürlich öfters mit unterlief, dass man sich von der Annahme eben einer solchen Absichtlichkeit nicht völlig freigehalten hat. Sehr weitläufig und mit einer etwas ermüdenden, die Einsicht in die Sache nicht weiter fördernden, Häufung von handgreiflichen Beispielen erörterte Condillac, in seinem immer noch lesenswerthen Traité des sensations, unsere Frage, die physiologischerseits durch Joh. Müller (im zweiten Band seines Handbuchs der Physiologie) ihre anerkannt beste und scharfsinnigste Darstellung gefunden hat.

Um eintreten zu können in unsere Untersuchung, haben wir uns einen, somatisch irgendwie beschaffenen Organismus mit gewissen, möglichst rudimentären psychischen Anlagen ausgestattet zu denken und demnach als Minimum ein empfindungs- und bewegungsfähiges Wesen anzunehmen, das im Stande ist, sich über die gehabten Empfindungen einfache Vorstellungen zu machen. Dasselbe müsste mindestens befähigt sein, Empfindungen, die es schon oft gehabt hat, leicht und als solche wieder zu erkennen, wenn sie sich auf's Neue einstellen, also auch den empfindenden Zustand von dem ruhenden, empfindungslosen Zustand zu unterscheiden. Mit letzterer Erkenntniss ist zugleich eine Art von Gegensatz von selbst gegeben zwischen dem empfindenden Subject und der Empfindung selbst, denn „dem Bewusstsein, dem Ich“ — sagt Joh. Müller, a. a. O. Bd. 2. S. 268 — „ist jede Empfindung, jede Bestimmung von aussen, jede Passion schon ein Aeusseres. Dieses Ich sezt sich den heftigsten Empfindungen, den qualvollsten Schmerzen als freies

Subject entgegen. Das Glied, was uns schmerzt, kann entfernt werden und das Ich wird nicht geschmälert; das Ich kann der meisten Glieder des Organismus entäussert sein und es ist noch eben so ganz wie vorher."

Statten wir unseren Organismus mit nichts anderem als mit Tastempfindlichkeit aus, so muss derselbe Tastempfindungen aus zweierlei Ursachen haben: einmal, wenn ein Object seine Haut berührt, das andere Mal aus inneren Ursachen, wenn innere Reize seine Tastnerven treffen. Ein solcher Organismus wird den empfindenden Zustand vom empfindungslosen unterscheiden, nicht aber wird er erkennen, ob die Empfindung von Aussen kommt oder nicht; eine Aussenwelt im Gegensatz zur eigenen Leiblichkeit wird demnach für diesen Organismus nicht vorhanden sein.

Unser Organismus sei aber auch im Besitz von Muskeln. Diese Apparate bewegen sich zunächst für sich, in Folge innerer Reize, welche die motorischen Nerven bestimmen. Seine durchaus unwillkürlichen Bewegungen sind aber nothwendig mit Empfindungen verknüpft, die wiederum verschieden ausfallen müssen je nach den Bewegungen, welche ausgeführt, je nach den Stellungen, welche von den Gliedern beibehalten werden. Der Organismus hat also verschiedene Muskelgefühle; warum er sie hat, kann er aber nicht erkennen, weil die Bewegungen unabhängig erfolgen von seinem Willen, der überhaupt noch nicht da ist.

Machen wir nun die sehr einfache und unverfängliche Annahme, dass das öftere Dasein bestimmter Muskelgefühle die Vorstellung nothwendig erzeugen müsse, eben diese Gefühle hervorzubringen, sich also von einem Empfindungszustand in einen anderen zu versetzen. Werden die Gefühle hervorgebracht, so sind die bezüglichen Bewegungen ausgeführt und je öfters sie hervorgebracht werden, um so mehr ist der Organismus, vorausgesetzt dass er ein Controlmittel besizt, um sich

von der wirklichen Ausführung der Bewegungen zu überzeugen, im Stande, die Bewegungen seiner Glieder zu „beherrschen". Genau dieselben Bedingungen liegen ja auch den willkürlichen Bewegungen unserer späteren Lebenszeit zu Grunde. Der eine Bewegung Ausführende beherrscht, ohne die Nerven und Muskeln zu kennen, durch welche die Bewegung eingeleitet und ausgeführt wird, die diesem Zwecke dienenden Apparate gleichwohl auf's Beste, eben weil er im Stande ist, den Effekt der Bewegung zu controliren. Wie ein häufig gehörtes Wort im Kinde die Tendenz hervorruft, eben dieses Wort auch seinerseits zu produciren, wie dasselbe die zur Production des beabsichtigten Wortes nöthigen Bewegungen dadurch erlernt, dass das Hören des von ihm gesprochenen Wortes die Controle der richtigen Ausführung der — nur indirekt gewollten — Bewegungen abgibt, gerade so kommen auch die ersten Willkürbewegungen zu Stande, indem nicht bloss die Tendenz und die Fähigkeit vorhanden ist, die mit diesem verbundenen Muskelgefühle hervorzubringen, sondern auch das Vermögen, das beabsichtigte Muskelgefühl zu erkennen.

Damit beherrscht aber der Organismus seine Bewegungen, als solche, noch keineswegs, sondern er beherrscht zunächst bloss das Zustandekommen gewisser, von ihm beabsichtigter Gemeingefühle; er weiss also nicht, dass er bestimmte Bewegungen vollbringt, dass er überhaupt im Stande ist, Bewegungen ausführen zu können. Nun stehen aber seinen Bewegungen äussere Widerstände entgegen, die ihrerseits wiederum Tastempfindungen veranlassen; einen Widerstand bieten aber auch die Theile des eigenen Körpers. Wenn zwei Theile sich gegenseitig berühren, so entsteht eine doppelte Empfindung, in dem drückenden und in dem gedrückten Körpertheil; der gedrückte Theil ist also zugleich sowohl äusseres Object der Empfindung als auch empfindend. Drückt aber der Organismus

gegen einen wirklich äusseren Gegenstand, so hat er nur eine Empfindung an der drückenden Stelle. Dadurch entsteht, um mit Joh. Müller zu reden, „die Vorstellung von zweierlei Aeusserem, von dem Aeusseren, welches die Glieder des eigenen Körpers für das Ich sind und von dem Aeusseren der wahren Aussenwelt".

Diese Auffassungsweise, so viel Wahres sie auch enthält, localisirt die Empfindungen ohne Weiteres und begeht, indem sie von Empfindungen „im" drückenden und „im" gedrückten Körpertheil spricht, eine Inconsequenz, wodurch sie sich — ich will nicht sagen mit dem wirklichen Sachverhalt — jedenfalls mit ihrem eigenen durchaus empirischen Standpunkt in Widerspruch setzt.

Ueber das Zustandekommen unserer Raum- und Zeitanschauungen stehen bekanntlich in einem, so wie er gewöhnlich hingestellt wird, unversöhnlichen Gegensatz die beiden Grundanschauungen der empirischen und nativistischen Theorie. Nach der ersteren tragen Erfahrung und Uebung ausschliesslich Alles bei zur Gewinnung von räumlichen und zeitlichen Vorstellungen, während die zweite Theorie die unannehmbare Behauptung aufstellt, die Sinne hätten das angeborene Vermögen, ihre Empfindungen nach Aussen zu versezen; der Begriff des Raumes, überhaupt der Gegensatz zwischen Aussenwelt und dem empfindenden Subjekt, sei also schon von vornherein gegeben.

Handelt es sich um die Erforschung der zahlreichen Hülfsmittel, welche den geschulten Sinnen des Erfahrenen zu Gebote stehen, um eine gehabte Empfindung auf ihre äussere Veranlassung zu beziehen und dem betreffenden Sinnesreiz die richtige Stelle neben und nach den übrigen Reizen der Aussenwelt anweisen zu können, so wird die positive Forschung von diesen principiellen Gegensätzen allerdings nicht oder fast gar nicht berührt. Daher erklärt sich auch die Vorliebe der grossen Mehrzahl der Physiologen für die empirische Theorie und ihre wohl-

begründete Abneigung gegen jene Naivetät, welche die Verfolgung wichtiger, hieher gehöriger Specialfragen der Sinnesphysiologie mit der einfachen Erklärung abschneiden möchte, die Kenntniss des Raumes sei eben etwas Angebornes.

Gleichwohl dürfen wir den wesentlichen Unterschied nicht übersehen, der nothwendig stattfinden muss zwischen den Sinnesoperationen des empfindenden Subjectes, welches mit der Unterscheidung seines Ich von der Aussenwelt bereits fertig geworden ist, und den Sinnesoperationen der ersten Lebenszeit. Alle Versuche, das Zustandekommen der Raum- und Zeitanschauungen in der ersten Lebenszeit zu erklären, so scharfsinnig sie auch erdacht sein mochten, sie haben gleichwohl das Räthsel nicht zu lösen vermocht, insofern alle erdenkbaren Controlmittel, welche die mit diesem primitiven Anschauungsunterricht sich beschäftigende Seele anwenden soll und ohne Zweifel zum Theil auch wirklich anwendet, nicht völlig freigemacht werden können entweder von Voraussezungen, deren Statthaftigkeit erst noch zu erweisen wäre, oder von Eigenschaften, die, als nicht weiter erklärbar, ihrerseits wiederum als angeborene angenommen werden müssen. Wenn z. B. Herbart (siehe dessen Psychologie als Wissenschaft) in ausführlichen Erörterungen zu zeigen sucht, dass die Seele durch Verbindung von Tast- oder Lichtempfindungen mit bestimmten, je nach der Stellung der Theile wechselnden Muskelempfindungen, zur Anschauung des Raumes nothwendig kommen müsse; so sind damit wichtige Hülfsmittel zur Erkenntniss des äusseren Raumes allerdings richtig erörtert, nun und nimmermehr aber das, worauf es uns hier allein ankommt, nämlich die Entstehung der ersten räumlichen Anschauungen überhaupt. Auch die scharfsinnigen und eleganten Erörterungen, welche Lotze in seiner medicinischen Psychologie, S. 420—424 und an anderen Orten, über die Verwendung der Muskelgefühle zur Objectivirung der Sinnesempfindungen an-

stellte, finden ihre volle Anwendung wiederum nur unter der Voraussetzung, dass eine, wenn auch noch so rudimentäre Raumanschauung bereits vorhanden sein muss.

Kann also die empirische Theorie das Zustandekommen der ersten Raum- und Zeitanschauung nicht befriedigend erklären; ist auf der anderen Seite der Nativismus, mit seinen viel zu weit gehenden Behauptungen, eine unannehmbare Zumuthung an den Physiologen, so bleibt eben nichts übrig als dass wir zurückkommen auf die Kant'sche Annahme, die „allgemeine" Raum- und Zeitanschauung bilde an sich schon eine ursprüngliche Form unseres Vorstellens, die Idee des Räumlichen und Zeitlichen sei eine reine Anschauung a priori.

Damit will natürlich nicht gesagt sein, dass wir die Anschauung des äusseren Raumes mit auf die Welt bringen; dass ein Gegensatz zwischen dem Ich und der Aussenwelt in unserem Bewusstsein schon ursprünglich vorhanden sei, dass unsere Empfindungen sogleich hinausverlegt werden in die Aussenwelt. Dagegen wird jene Annahme nicht als völlig unnahbar in die Luft gestellt sein, wenn wir bestimmten Empfindungen, namentlich den Muskelgefühlen, der ersten Lebenszeit eine gewisse, anfangs freilich nur sehr undeutliche, Localisation, als inhärente Eigenschaft zuschreiben und demgemäss von diesen Empfindungen behaupten, dass sie als solche, d. h. mit ihrem bloss qualitativen Inhalt, gar nicht bestehen. Die Annahme von ursprünglich nur sehr wenigen, qualitativ verschiedenen, beim gleichzeitigen Vorhandensein aber nicht in Eins zusammenfallenden räumlichen Empfindungen genügt vollständig, um die nach dem oben Erörterten nicht weiter auszuführenden Anknüpfungspunkte zu finden an alle die zahllosen Hülfsmittel, welche dem empfindenden Wesen zu Gebot stehen zur zunehmend genaueren Unterscheidung und Localisirung der vorhandenen Gemeingefühle, sowie zur Trennung der Empfindungen in objective und in

solche, die dem eigenen Körper angehören. Ferner liegt schon in der blossen Annahme einer Fähigkeit Seitens des empfindenden Wesens, dagewesene Empfindungen wieder erkennen, also auch den empfindungslosen vom empfindenden Zustand unterscheiden zu können, die Anerkennung nahezu bereits enthalten, dass mit unseren anfänglichen Empfindungen sehr bald die Anschauung einer zeitlichen Succession an sich schon sich verknüpft; denn diese Beziehungen erkennen, heisst nichts anderes, als Empfindungen des Zeitlichen haben.

Um die Verknüpfung der frühesten Empfindungen in ihren zeitlichen und räumlichen Beziehungen begreifen zu können, mussten die bis jetzt aufgestellten Erklärungsversuche von gewissen psychischen Grundeigenschaften, als bereits vorhanden, ausgehen. Die Annahme der blossen Empfindungsfähigkeit führt nicht weiter; mindestens muss die gehabte Empfindung wieder erkennbar und ausserdem das Vermögen vorhanden sein, über die Empfindungen „einfache“ Vorstellungen zu bilden.

Diese Operationen führen aber keineswegs zu der vorher noch nicht vorhandenen Erkenntniss des Zeitlichen in den Empfindungen, sondern es ist in ihnen diese Erkenntniss, ihrer Grundlage nach, bereits enthalten. In diesem Sinne dürfen wir von der allgemeinen Zeit- und Raumanschauung als ursprünglichen Formen des Vorstellens, als angeborenen Eigenschaften unserer Sinnlichkeit reden. Jene psychischen Grundeigenschaften, ohne welche derartige Erörterungen schlechterdings auch nicht um einen Schritt weiter gefördert werden können, und die ein Jeder in seiner Weise zu verwerthen gesucht hat, mag er nun mit Condillac eine Statue, oder mit Johannes Müller einen Organismus mit Empfindungs- und Bewegungsvermögen ausstatten, oder mit Herbart eine minder handgreifliche Form der Darstellung wählen, diese scheinbar so einfachen und rudimentären seelischen Eigenschaften sind aber selbst wieder die Re-

sultate unbekannter elementarerer Processe, also abgeleitete psychische Qualitäten, mit denen jedwede Ansicht — sei sie materialistisch oder spiritualistisch — über das Wesen des Psychischen vollkommen verträglich ist und deren Zuhülfenahme somit nicht hinreichen kann, um das Dunkel der Vorgänge befriedigend zu erklären.

Die Physiologie als solche hat sich hier strenge genommen auf die Erforschung der somatischen und überhaupt der äusseren Bedingungen zu beschränken, welche die zeitliche und räumliche Localisirung der Empfindungen ermöglichen und diese Leistungen der Sinnesthätigkeit zu immer grösserer Vollkommenheit erheben; ich meinerseits will aber den nicht unverdienten Vorwurf, in diesem Schlussparagraphen ein mir fremdes Gebiet berührt zu haben, gerne hinnehmen, in der Ueberzeugung, dass dabei der Versuch nicht vollständig misslungen sein möchte, den Widerspruch zwischen der empirischen und der nativistischen Theorie der Sinneswahrnehmungen etwas weniger schroff und unvermittelt hinzustellen, als das gewöhnlich geschieht.

Druckfehler.

S. 48, Tabelle G, Zeile 2 von oben, l. 40 statt 48.

S. 79, Tabelle B', Zeile 2 von oben, l. 1,414 statt 1,141.